



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MAATALOUDEN KUORMITUS KIRMANJÄRVEN VALUMA- ALUEELLA POHJOIS-SAVOSSA

TEKIJÄ: Hanna Kröger

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Hanna Kröger			
Työn nimi Maatalouden kuormitus Kirmanjärven valuma-alueella Pohjois-Savossa			
Päiväys	3.6.2013	Sivumäärä/Liitteet	58/7
Ohjaaja Päätoiminen tuntiopettaja Teemu Räsänen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani MTT, Maaninka/professori Perttu Virkajärvi			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin maatalouden aiheuttamaa kuormitusta Iisalmessa sijaitsevaan Kirmanjärveen. Työn tavoitteena oli selvittää tutkimusosavaluma-alueen kokonaisfosforin, liukoisen fosforin, kokonaistypen ja kiintoaineen ominaiskuormitus Kirmanjärveen. Opinnäytetyössä hyödynnettiin MTT:n mittalaitteverkoston tuottamaa aineistoa. MTT Maaningalta saatiin data, jonka perusteella pystyttiin laskemaan ominaiskuormitus. Tutkimus tehtiin, jotta saataisiin tarkempaa tietoa maatalouden kuormituksesta Suomen sisävesiin. Kirmanjärvi kuuluu Iisalmen-reitin vesistöön, joka on paikoin luokiteltu veden ekologisen tilan perusteella tyydyttävään luokkaan. Maatalous tuottaa suurimman ihmistoiminnasta aiheutuvan hajakuormituksen vesistöihin. Pohjois-Savon maatalousalue eroaa muista maatalousalueista muun muassa ilmaston, maaperän, ja harjoitetun maatalouden osalta.</p> <p>Osana MTT Maaningan FOKUS-hanketta (Sisävesien fosforikuormituksen vähentämiskeinot -hanketta) perustettiin vuonna 2010 valuma-alueen automaattinen ravinnekuormituksen seurantaverkosto Pohjois-Savoon Kirmanjärvelle. Jatkuvatoimiseen seurantaan päädyttiin sen takia, että saataisiin tarkempaa tietoa erityisesti kevätvalunnan ajalta, jolloin kuormitus on suurinta. Opinnäytetyö rajattiin niin, että keskityttiin vuosien 2011 ja 2012 aikana tulevaan kuormitukseen. Lisäksi tutkimuksen viidestä mittauspisteestä otettiin tarkasteluun neljä. Ensimmäisen pisteen perusteella voitiin tarkastella koko tutkimusosavaluma-alueen kuormitusta, ja kolmen muun pisteen perusteella pystyttiin vertailemaan pelto- ja metsäalueita keskenään. Virtaama- ja kuormitusdataa muokattiin Excel-tilukkolaskentaohjelmalla, jonka jälkeen pystyttiin laskemaan ominaiskuormitusarvot ja piirtämään virtaamakuvaajat. Kuvaajien ja kenttäpäivien havaintojen perusteella pystyttiin analysoimaan tulosten luotettavuutta.</p> <p>Lopputuloksena saatiin tutkimusosavaluma-alueen ja seuranta-alueiden ominaiskuormitukset, sekä virtaamakuvaajat vuosille 2011 ja 2012. Ominaiskuormitustuloksista selvisi, että kuormitus on selkeästi suurempi peltoalueella, kuin metsäalueella, missä ei ole käytetty lannoitteita. Koko tutkimusosavaluma-alueen ominaiskuormitukseksi saatiin kokonaisfosforille 0,6 kg/ha/a, liukoiselle fosforille 0,2 kg/ha/a, kokonaistypelle 11,8 kg/ha/a ja kiintoaineelle 100 kg/ha/a vuosien 2011 ja 2012 mittausten perusteella. Jatkuvatoimisella seurannalla saadaan melko luotettavia tuloksia. Virhelähteitä voi jatkuvatoimisten mittalaitteiden lisäksi aiheutua myös laboratoriomäärityksistä. Laittevalmistajien virherajat eri toiminnoille ovat pieniä, mutta isojaakin virheitä voi aiheutua esimerkiksi käytöstä ja olosuhteista. Huomattiin myös, että tulosten tulkinta ja luotettavuuden arviointi on sitä helpompaa, mitä enemmän tutkimusalueelta on havaintoja. Tutkimus jatkuu vielä vuoteen 2014 asti.</p>			
Avainsanat Jatkuvatoiminen mittaus, ominaiskuormitus, virtaama			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author Hanna Kröger			
Title of Thesis Agricultural Load from Kirmanjärvi Catchment Area in Northern Savo			
Date	3 June 2013	Pages/Appendices	58/7
Supervisor Mr Teemu Räsänen, Lecturer			
Client Organisation /Partners MTT, Maaninka/Mr Perttu Virkajärvi, Professor			
<p>Abstract</p> <p>The topic of this thesis was to study agricultural load on Kirmanjärvi which is situated in Iisalmi, in Northern Savo. The aim was to study how big is the total phosphorus, soluble phosphorus, total nitrogen and solid load on Kirmanjärvi. Measurement data provided by MTT Maaninka (Agrifood Research Finland) were utilized in this thesis. The research was done to get more accurate information on the agricultural load on Finland's inland waters. Agriculture in Northern Savo is different from agriculture in coastal Finland. Load from agriculture has the biggest share compared to any other diffuse pollution from human activity.</p> <p>The catchment area based measurements started in 2010 on Kirmanjärvi by MTT Maaninka (FOKUS-project). Measurements were automatic and continuous because the aim was to get accurate results from the load, specially results from spring time when the forming of load is the biggest. This thesis focused on observing results from years 2011 and 2012. In addition, the results from four measurement points out of five measurement points were studied. The first measurement point was selected so that waters from the whole research catchment area could be inspected. Three other measurement points were selected so that the load from the field and forest monitoring areas could be compared. The data contains average flow rates and every day loads. The data was modified by the Excel spreadsheet program. After that, the calculated specific load values and flow rate graphs were drawn. Graphs and notes from the field research helped to analyze the results.</p> <p>The results of this thesis were specific loads from the research catchment area and the monitoring areas and flow rate graphs from years 2011 and 2012. Specific load values from the monitoring areas show that the load from fields is more than the load from forest areas where there are more plants to prevent erosion. The specific load from the first measurement point was 0.6 kg/ha/a of total phosphorus, 0.2 kg/ha/a of soluble phosphorus, 11.8 kg/ha/a of total nitrogen and 100 kg/ha/a of solid. The interpretation of results and evaluation of reliability is easier when there are more observations. The research will continue till 2014 by FOKUS II -project (Nutrient load of inland waters).</p>			
<p>Keywords Continuous measurement, Load, Flow rate</p>			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin keväällä 2013. Tämä työ on tehty osana MTT:n Sisävesien ravinnekuoritus (FOKUS II) -hanketta.

Haluan kiittää Teemu Räsästä työn ohjauksesta. Suuri kiitos myös työn tilaajalle MTT Maaningalle mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta. Erityisesti haluaisin kiittää MTT:n professoria Perttu Virkajärveä ja tutkijaa Mari Rättyä ohjauksesta ja kannustuksesta.

Kuopiossa 15.5.2013

Hanna Kröger

SISÄLTÖ

LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	8
2 YLEISTIETOA TUTKIMUKSESTA.....	10
2.1 Metsätalousalueen kuormitus.....	10
2.2 Kosteikko kuormituksen vähentämiskeinona	10
2.3 Kirmanjärvi.....	10
2.4 FOKUS II -hanke.....	11
2.5 Vesistö- ja kuormitusmalli VEMALA.....	12
3 VESIEN SUOJELUN LAINSÄÄDÄNTÖ	14
3.1 Pohjois-Savon vesienhoito	14
4 JATKUVATOIMINEN MITTAUS	16
4.1 Jatkuvatoinen mittauksen hyödyt.....	16
4.2 Laadunvarmistus.....	17
5 MITTAUSPISTEET	18
6 MITTALAITTEET	20
6.1 Paineanturi + V-pato.....	20
6.1.1 V-pato.....	20
6.1.2 STS DL/N series 70 -painanturi.....	21
6.2 StarFlow Ultrasonic Doppler Instrument model 6526-virtaamamittari	22
6.3 FlowTracker -virtaamamittari	23
6.4 Endress+Hauser Liquiport 2000 RPT20 -vesinäytteenotin	26
7 LABORATORIOMÄÄRITYKSET	28
7.1 Kokonaisfosfori	28
7.2 Liukoinen fosfori	29
7.3 Kokonaistyyppi	29
7.4 Kiintoaine	29
8 DATAN KÄSITTELY JA OMINAISKUORMITUKSEN MÄÄRITYS	30
8.1 Raakadatan käsittely	30
8.2 Ominaiskuormituksen määrittäminen	30
8.3 Virtaamanmäärittäminen	31

9	RAAKADATAN TARKASTELU	33
9.1	Raakadatatulokset	33
9.1.1	Raakadatatulokset vuodelta 2011	35
9.1.2	Raakadatatulokset vuodelta 2012	36
9.2	Raakadatan virhetarkastelu	37
9.3	Raakadatan tulkintaa	40
10	TULOKSET	41
10.1	Puuttuvat mittausarvot ja laboratoriotulokset	41
10.2	Virtaamatulokset	42
10.2.1	VEMALA-mallin ja mittauspisteen 1 summavirtaamat	43
10.2.2	Sadanta	43
10.3	Tunnusluvut	44
10.4	Ominaiskuormitus	45
11	OMINAISKUORMITUKSEN LASKENNAN VIRHETARKASTELU	47
11.1	Mittausten virhetarkastelu	47
11.1.1	V-pato paineanturiyhdistelmän virhe	47
11.1.2	Kaikumittaus	48
11.2	Laboratoriomääritysten virhetarkastelu	48
11.3	Ominaiskuormitustulosten epävarmuus	49
12	TULOSTEN TULKINTA	51
12.1	Virtaama	51
12.2	Ominaiskuormitus	51
13	JOHTOPÄÄTÖKSET	54

LÄHTEET

LIITTEET	Liite 1	Esimerkkejä toimenpiteistä ja havainnoista mittauspisteissä
	Liite 2	Rankkasateiden päivämäärät
	Liite 3	Ilmakuva Kirmanjärven maatalousalueesta (vain tilaajan käyttöön)
	Liite 4	Yleiskartta (vain tilaajan käyttöön)
	Liite 5	Maaperäkartta ja valuma-alueen hahmotelma (vain tilaajan käyttöön)
	Liite 6	Maalajien selitteet (vain tilaajan käyttöön)
	Liite 7	Maalajitunnusten selitys (vain tilaajan käyttöön)

LYHENTEET

A = pinta-ala

a = keskuskolmion korkeus

b = keskuskolmion kanta

C = päivittäinen kuormitus

c = näytteen pitoisuus

DOC (dissolved organic carbon) = liuennut orgaaninen hiili

h = korkeus

L = vuosittainen kuormitus

liukP= liukoinen fosfori

m1 = suodattimen massa ennen suodatusta

m2 = suodattimen massa punnituksen jälkeen

o = ominaiskuormitus

r = tierummun säde

totN = kokonaistyyppi

totP = kokonaisfosfori

V = näytteen tilavuus

v = virtausnopeus

Q = virtaama

Qkesk = vuorokauden keskimääräinen virtaama

α = keskuskulma

ρ = kiintoainepitoisuus

1 JOHDANTO

Maatalous tuottaa suurimman ihmistoiminnasta aiheutuvan ravinnekuormituksen vesistöihin. Maatalouden aiheuttama vesistöjen ravinnekuormitus on peräisin peltoviljelystä tai kotieläintuotannosta (Valtion ympäristöhallinnon www-sivut 2011). Pohjanmeren ja Ahvenanmaan valuma-alueet poikkeavat sisävesien valuma-alueista muun muassa maaperän, ilmaston ja harjoitetun maatalouden osalta. Tämän vuoksi Suomen sisävesien ravinnekuormituksen luonne on erilainen verrattuna rannikkovesistöön. Suomen rannikolta sytyvästä maatalouden kuormituksesta on olemassa tutkimustietoa, mutta kyseiset kuormitustulokset ja kuormituksen vähentämiskeinot eivät ole täysin verrannollisia sisämaan kuormitukseen. Näin ollen on tärkeää tutkia myös sisävesien kuormitusta. Pohjois-Savossa harjoitetaan lähinnä nurmi- ja viljanviljelyä, erityisesti karjanlantaan perustuvaa nurmiviljelyä. Tästä syystä erityisesti fosforikuormitus voi pintavesien laadun kannalta tuottaa ongelmia. Vuonna 2008 Pohjois-Savossa oli maatalousmaata noin 149 000 ha ja 4 580 maatilaa. Pohjois-Savossa vesistöjen ekologinen tila on pääsääntöisesti hyvä, mutta Iisalmen reitillä on paljon välttävää ja tyydyttävää luokiteltuja vesiosuuksia. Näin ollen vuonna 2010 Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus on asettanut alueelle huomattavia maatalouden kuormituksen vähentämistarpeita. (Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010.)

Opinnäytetyön tilaajana toimii MTT Maaninka, eli Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. MTT toimii maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa. MTT Maaninka on erikoistunut kotieläin- ja kasvintuotannon tutkimukseen, ja kasvintuotannossa erityisesti nurmen viljelyyn ja nurmen ympäristövaikutuksiin. MTT käynnisti FOKUS -hankkeen, eli *Sisävesien fosforikuormituksen vähentämiskeinot* -hankkeen, koska sisävesien kuormituksesta ei ole tarpeeksi tutkimustietoa. Tätä työtä jatketaan FOKUS II (*Sisävesien ravinnekuormitus*) -hankkeessa. Hankkeen *"pitkän aikavälin tavoite on nurmiviljelystä aiheutuvan vesistökuormituksen vähentäminen ja tätä kautta vesien laadun parantaminen"* (MTT, Sisävesien ravinnekuormitus).

FOKUS -hankkeen toimesta perustettiin vuonna 2010 Iisalmen Kirmanjärven osavaluma-alueelle maatalouden kuormituksen seurantaverkosto. Tutkimuksen seurantaverkostoon kuuluu viisi mittauspistettä, jotka sijaitsevat alueen ojissa. Viidestä mittauspisteestä mitataan jatkuvatoimisesti virtaamaa, ja kerätään jatkuvatoimisesti vesinäytteitä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella jatkuvatoimisen mittauksien laatua, tunnistaa mittausepävarmuutta aiheuttavat tekijät ja laskea jatkuvatoimiseen mittaukseen perustuva ominaiskuormitus Kirmanjärven osavaluma-alueilla. Mittausdata on koottu MTT Maaninkan toimesta, ja se on peräisin Kirmanjärven tutkimusosavaluma-alueilta. Työssä tarkastellaan tutkimuksen viidestä mittauspisteestä neljää (mittauspisteet 1, 3, 4 ja 5) vuosilta 2011 ja 2012. Mittauspiste 1 sijaitsee niin, että siitä saadaan määritettyä kokotutkimusalueen kuormitus. Kolme muuta pistettä on sijoitettu niin, että saadaan vertailtua eri maankäyttöllisiä muotoja (seuranta-alueita) keskenään.

Raakadata on virtaamadataa mittauspisteestä 3, ja siitä analysoidaan muun muassa datan luotettavuutta, ja tutkitaan, mitä vaiheita datan käsittely vaatii. Lisäksi pohditaan voidaanko manuaalisesti tehtyä datan käsittelyä jatkossa automatisoida. Raakadata on koottu MTT:n toimesta Excel-

taulukkolaskentaohjelmaan, mutta työssä dataa käsitellään ja tutkitaan Matlab-ohjelmalla. Muu tutkittava mittausdata on myös Excel-taulukkolaskenta muodossa. Dataan on koottu keskimääräiset vuorokausivirtaamat (l/s), sekä laboratoriossa määritettyjen näytteiden pitoisuudet (mg/l). Työssä lasketaan virtaamien ja laboratoriotulosten perusteella ominaiskuormitukset (kg/ha/a) kokonaisfosforille, liukoiselle fosforille, kokonaistypelle ja kiintoaineelle. Lisäksi tutkitaan tuloksia muun muassa sadantatietojen ja VEMALA-mallilla, eli vesistö- ja kuormitusmallilla, saatujen virtaamatietojen perusteella.

Lopputuloksena saadaan vuosien 2011–2012 ominaiskuormitukset (kg/ha/a) Kirmanjärven tutkimusosavaluma-alueelta ja kolmelta eri seuranta-alueelta. Kuormitus- ja virtaamatiedot esitetään mahdollisimman havainnollistavina kuvaajina ja taulukoina, joita tilaaja voi käyttää jo tässä vaiheessa tutkimusta. FOKUS II -hanke jatkuu vielä vuoteen 2014 asti.

2 YLEISTIETOA TUTKIMUKSESTA

2.1 Metsätalousalueen kuormitus

Metsätalousmailta tulee ravinnekuormitusta yleensä päätehakkuiden, maanmuokkauksen, lannoituksen, ojituksen ja kulituksen seurauksena. Toimenpiteiden aiheuttama kuormitus on voimakkainta 1-3 vuotta toimenpiteen jälkeen. Noin kolmasosa metsätalousmailta tulevasta fosfori- ja typpikuormituksesta on taustakuormitusta, eli kuormitusta, mikä tulisi täysin luonnontilaiselta metsäalueelta. HAME eli *Hajakuormituksen hallinta metsätaloudessa* -hankkeessa on selvitetty taustakuormituksen määrää. Tutkimuksessa saatiin kokonaistypen huuhtoumaksi keskimäärin 1,3 kg/ha/a, kokonaisfosforille keskimäärin 0,049 kg/ha/a ja kiintoaineelle keskimäärin 5,1 kg/ha/a. (Finer ym. 2010, 7-12.)

Kirmanjärven tutkimusosavaluma-alueeseen kuuluu myös metsätalousaluetta. Mittauspisteen 5 kautta pystyttiin määrittämään metsätalousalueen kuormitus. Huomattiin kuitenkin, että alueella sijaitsee pistekuormituslähde, josta syntyy fosforikuormitusta. Näin ollen mittauspisteen 5 tulokset eivät täysin vastaa metsätalousalueen kuormitusta. Vuonna 2013 määritettiin tarkemmin pistekuormituksen suuruus, jotta se voidaan vähentää alueen tuloksista. Tässä työssä kuitenkin päädyttiin vertaamaan metsäalueen tuloksia HAME-hankkeen tuloksiin.

2.2 Kosteikko kuormituksen vähentämiskeinona

Kosteikko on vesistön osa, jonka tehtävänä on hidastaa veden virtausta niin, että veden sisältämät aineet laskeutuvat kosteikon pohjalle ja ravinteet pääsevät sitoutumaan kasvillisuuteen. *"Toimiva kosteikko voi pidättää yli puolet sinne kulkeutuvasta ravinnekuormasta"* (WWF, Kosteikot). Kosteikon päätavoitteena on valumavesien puhdistus, mutta kosteikot lisäävät myös luonnon monimuotoisuutta. Kosteikon sitomat ravinteet mahdollistavat erilaisten kasvien kasvun ja se tarjoaa elinympäristön eri eläimille ja eliöille. Kosteikot ovat valtaosan ajasta veden peitossa, joten siellä kasvaa tyyppillistä vesi- ja kosteikkokasvillisuutta. Monivaikutteinen kosteikko on sellainen, että sen suunnittelussa ja toteutuksessa on otettu huomioon vesiensuojelu, luonnon monimuotoisuus, sekä virkistys- ja maisema-arvot. (Valtion ympäristöhallinnon www-sivut 2010.)

Kosteikon mitoituksessa tulee huomioida veden viipymä, jotta ravinteet todella laskeutuvat kosteikon pohjalle. Kosteikko tulisi mitoittaa niin, että sen koko olisi vähintään 0,5 % valuma-alueen koosta. Mitä suurempi kosteikko on suhteessa valuma-alueeseen, sitä puhdistavampi vaikutus sillä on. Kosteikon mitoituksessa on hyvä huomioida tulva-ajat niin, että myös tulvien aikana kosteikolla on puhdistava vaikutus. Kosteikko, joka puhdistaa maatalouden vesiä, tulisi mitoittaa huippuvirtaamien mukaan. (WWF, *Kosteikon perustaminen.*) *"Kosteikot ovat yksi kustannustehokkaimmista pellon ulkopuolisista toimista maatalouden vesiensuojelun edistämiseksi"* (WWF, Kosteikot).

2.3 Kirmanjärvi

Kirmanjärvi sijaitsee Iisalmessa Pohjois-Savossa, nurmi- ja lumi-Suomen alueella, ja se kuuluu Iisalmen reitin järviketjuun. Kirmanjärven valuma-alue on noin 27 km², ja itse järven ala on 5 km². Vuo-

den 2006 selvityksen mukaan järvi luokiteltiin reheväksi järven tuotantotaseen ja ravinnepitoisuuden perusteella. Rehevöityminen näkyy muun muassa leväkukintoina. Selvityksen perusteella järven vedenlaatuluokaksi annettiin tyydyttävä. Rehevöityminen on seurausta järven suuresta sisäisestä ja ulkoisesta kuormituksesta. Järven maaperä on luontaisesti rehevä ja sisäistä kuormitusta nostaa muun muassa suuri särkikalakanta. Ulkoisen kuormituksen syynä on pääsääntöisesti valuma-alueella harjoitettava maatalous. Kirmanjärven valuma-alueesta 31 % on peltoa. Kirmanjärven ekologista tilaa heikentävät sen suuret klorofyllipitoisuudet. Kirmanjärven tilaa on seurattu vuodesta 1983, ja sitä on yritetty parantaa erilaisilla kunnostusmenetelmillä. Järvi toimii Ylä-Savon Vesi Oy:n tekopohjaveden raakavesi lähteenä ja varavesilähteenä. Suurinosa Kirmanjärven valuma-alueesta kuuluu Peltosalmen kartta-alueeseen, jonka yleisin maalaji on moreeni. Hienoainesmoreenia Peltosalmen alueen maa-alasta on noin 40 %. Hienoainesmoreenin hienoainespitoisuus on keskimäärin 53 %, ja savipitoisuus on keskimäärin 11 %. (Kauppinen, 2006; Pohjois-Savon Ely keskus, 2010; Saarelainen & Leino 2002.)

Kirmanjärven valuma-alueeseen kuuluu osavaluma-alue, joka on otettu maatalouden kuormituksen tutkimiseen. Tutkimusosavaluma-alue on noin 3 km², ja sen alasta 32 % on peltoa, 50 % metsää ja 18 % suota. Liitteestä 3 voidaan nähdä alueesta otettu ilmakuva. Alueella viljellään lähinnä rehuhunurmea ja -viljaa. Alueen vedet päätyvät lopulta yhtä ojauomaa pitkin Kirmanjärveen. (Kauppinen, 2006; Rätty ym. 2012.) Lisäksi alueella sijaitsee kosteikko, joka toimi aikoinaan vesijättöalueena. Vuonna 1995 kosteikko rakennettiin lintukosteikoksi. Kosteikon pinta-ala on 1,7 ha, ja se on suhteessa kosteikon valuma-alueeseen noin 1,7 %. Vuonna 2011 kosteikko oli umpeen kasvanut, mutta vuoden 2012 alussa saatiin myönteinen rahoituspäätös kosteikon kunnostamiseksi. Raivaustyöt on aloitettu ja kaivutyöt on tarkoitus saattaa loppuun vuoden 2013 keväällä. FOKUS II -hankkeen ja RAE-hankkeen (Ravinnehävikit euroiksi, 2011–2014) tutkimuksilla seurataan muun muassa kosteikon reduktiota. (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus 2012.)

2.4 FOKUS II -hanke

FOKUS II eli *Sisävesien ravinnekuormitus* -hankkeessa jatketaan FOKUS eli *Sisävesien fosforikuormituksen vähentämiskeinot* -hankkeen työtä. FOKUS II -hankkeen tarkoituksena on selvittää maataloudesta aiheutuvaa ravinnekuormitusta sisävesiin. Hanke on MTT:n toteuttama. Tutkimuksessa seurataan kolmen hydrologisen vuoden (2011–2014) ajan valumaa ja kuormitusta tutkimusosavaluma-alueelta.

Tutkimukseen kuuluu:

- *maan fosforin esiintymismuodot, hiilen määrä ja fosforin huuhtoutumisherkkyys*
- *valuma-alueen mittaus*
- *kosteikko nurmialueen fosforikuormituksen vähentäjänä*
- *luonnon taustakuormituksen arviointi*

(MTT, *Sisävesien ravinnekuormitus*).

Tutkimukseen päädyttiin, koska nurmiviljelyn aiheuttamasta sisävesien ravinnekuormituksesta ei ole riittävästi tietoa. Suomen rannikolta on maatalouden kuormitusta tutkittu, mutta tulokset ja kuormituksen vähentämiskeinot eivät ole täysin verrannollisia sisämaan kuormitukseen, sillä ilmasto ja maaperä ovat erilaisia. Hankkeen ”*pitkän aikavälin tavoite on nurmiviljelystä aiheutuvan vesistökuormituksen vähentäminen ja tätä kautta vesien laadun parantaminen*” (MTT, *Sisävesien ravinnekuormitus*). Tavoitteen saavuttamiseksi pyritään muun muassa selvittämään maanviljelyalueelta tulevan kuormituksen määrää ja dynamiikkaa, selvittämään kosteikon vaikutusta veden laatuun, sekä arvioimaan luonnon taustakuormitusta. (MTT, *Sisävesien ravinnekuormitus*.)

FOKUS -hankkeen puitteissa pystytettiin vuonna 2010 Kirmanjärven tutkimusosavaluma-alueelle automaattinen ja jatkuvatoiminen ravinnekuormituksen seurantalaitteisto. Alueelle pystytettiin viisi mittauspistettä, joista mitataan jatkuvatoimisesti virtaamaa. Lisäksi jokaisessa mittauspisteessä on jatkuvatoiminen näytteenotin, joka kerää kokoomavesinäytteitä. Virtaama- ja pitoisuustietojen perusteella saadaan käsitys päivittäisestä kuormituksesta. Mittauspisteet on sijoitettu alueella sijaitseviin ojiin niin, että maankäyttömuodot vaihtelevat peltovaltaisesta metsävaltaiseen. Vesinäytteistä määritetään liukoinen fosfori ja kokonaisfosfori, nitraatti-, ammonium- ja kokonaistyyppi, kiintoaines, liukoinen orgaaninen hiili, liukoinen kalsium, pH ja sähkönjohtokyky. Alueelle pystytettiin myös sääasemat, joilla saadaan jatkuvatoimisesti alueen säätietoja. Säätietoja käytetään tulosten tulkinnan apuna. Ensimmäiset näytteet ja mittaukset on otettu syksyllä 2010. (Räty ym. 2012.)

Monivuotiseen tutkimukseen ja jatkuvatoimiseen mittaukseen päädyttiin sen perusteella, että virtaama ja ravinnekuormitus vaihtelevat voimakkaasti, minkä vuoksi tarvitaan tiheää näytteenottoa ja pitkäaikaista seurantaa. Nurmialueelta tuleva fosfori on lähinnä liukoisessa muodossa, minkä vuoksi fosforipitoisuutta ei voida arvioida välillisesti esimerkiksi kiintoainepitoisuuden perusteella. Tämän vuoksi tutkimuksessa on päädytty jatkuvatoimiseen vesinäytteenottoon, jolloin saadaan määritettyä myös alueelta tuleva liukoisen fosforin määrä. Hankkeessa haetaan tiloilta tietoja viljelymenetelmistä ja lohkojen viljavuusanalyysituloksista. Saatuja tietoja hyödynnetään tuloksia tulkittaessa. Lisäksi tuloksia tulkitaan ojista saatavien sedimenttinäytteiden analyysitulosten avulla. Alueelta tehtyjen maaperäanalyysien perusteella saadaan selvitettyä fosforin reaktioiden suuntaa ja arvioitua kuormituspotentiaalia. (Räty ym. 2012.)

2.5 Vesistö- ja kuormitusmalli VEMALA

Suomen ympäristökeskus on laatinut koko Suomen kattavan hydrologisen mallin, jonka avulla saadaan selville muun muassa pohjavesien pinnankorkeudet ja valunnat, sekä kuormitusmallin, jonka avulla voidaan laskea typen, fosforin ja kiintoaineksen kuormitus. Hydrologiseen SYKE-WSFS-malliin syötetään sade- ja lämpötilahavainnot, jonka jälkeen malli laskee maanpinnan muodot huomioiden virtaamat joissa ja järvissä. Kuormitusmalli VEMALA puolestaan määrittää maa-alueilta esimerkiksi pelloilta tai haja-asutuksena tulevan kuormituksen, ja kuormituksen etenemisen vesistössä. WSFS-VEMALA-malli perustuu WSFS hydrologiseen järjestelmään, Vihma-työkaluun, jonka avulla saadaan peltojen kuormitus, Icecream-malliin, jolla saadaan peltojen ravinnekierto ja LakeState-malliin, jolla saadaan klorofyllipitoisuudet. VEMALA-mallilla saadaan reaaliaikaista virtaama- ja kuormitustietoa.

Tietoihin pääsee sertifikaatilla Suomen ympäristökeskuksen ulkoisten [www-sivujen](#) kautta. VEMALA-mallissa on simulointijakso vuodesta 1990 alkaen. (Huttunen ym. 2013, *SYKE-WSFS-VEMALA vesistömallin vedenlaatuosio*.)

3 VESIEN SUOJELUN LAINSÄÄDÄNTÖ

Suomessa vesien suojelun tavoitteita ohjaa Euroopan unionin vuonna 2000 hyväksymä vesipolitiikan puitedirektiivi eli vesipuitedirektiivi (2000/60/EY). Direktiivi yhtenäistää EU maiden vesiensuojelua, ja sen tavoitteena on, että koko Euroopan alueen vesien tila on luokiteltavissa hyväksi vuoteen 2015 mennessä. Vuonna 2010 todettiin, että Euroopassa 20 % pintavesistä on suuri saastumisen vaara, 60 % Euroopan kaupungeista hyödyntää liikaa pohjavesivaroja ja 50 % kosteikoista on uhanalaisia. Lisäksi todettiin, että veden tarve kasvaa koko ajan, ja jotta voidaan turvata ihmisten terveys ja veden saanti, tulee vesillä olla hyvä ekologinen ja kemiallinen tila. Vesien hyvä ekologinen ja kemiallinen tila ovat myös edellytyksenä luonnon ekosysteemien ja biologisen monimuotoisuuden suojelulle. Vesipuitedirektiivin keskeisin toteutusmenetelmä on vesipiirien, eli vesienhoitoalueiden toteuttamat hoitosuunnitelmat. (Euroopan komissio 2010; Valtion ympäristöhallinnon www-sivut 2011.)

”Vesipuitedirektiivissä pintavesien ekologinen tila luokitellaan viiteen luokkaan: erinomainen, hyvä, tyydyttävä, välttävä ja huono” (Euroopan komissio 2010). Erinomainen tai hyvä tila tarkoittaa sitä, että ihmistoiminta ei aiheuta lainkaan paineita tai aiheuttaa lieviä paineita vesipiirille. (Euroopan komissio 2010.)

Suomessa vesien käyttö, hoidon ja suojelun perustana on ympäristösuojelulain (86/2000) ja vesilain (587/2011) lupajärjestelmä. Vesilaki uudistui vuonna 2011, ja astui voimaan 1.1.2012. *”Uusi vesilaki ei velvoita hankkeesta vastaavaa hakemaan uutta lupaa tai lupamääräyksen tarkistamista aiemman vesilain (264/1961) mukaan luvitetulle hankkeelle” (Ympäristöministeriön www-sivut 2011).* Laki vesienhoidon järjestämisestä (1299/2004) ja valtioneuvoston asetukset vesienhoitoalueista (1303/2004), vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006) ja vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006) vastaavat vesipuitedirektiivin vaatimuksiin. (Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2010, 9.)

Kosteikko voidaan perustaa ainoastaan silloin, kun siihen on maanomistajan lupa. Kosteikon perustamista saattaa rajoittaa myös vesilaki (587/2011), silloin kun kyseessä on vesistö tai luonnontilainen uoma. Kosteikon perustamiseen liittyvistä toimenpiteistä tulee keskustella ympäristöviranomaisen kanssa. Luonnonsuojelulaki (1096/1996) rajoittaa kosteikon perustamista silloin, kun alueella esiintyy uhanalaisia lajeja tai kun kyseessä on natura-alue. (WWF, *kosteikon perustaminen*.)

3.1 Pohjois-Savon vesienhoito

Pohjois-Savossa vesistöjen ekologinen tila on enimmäkseen hyvä, mutta Iisalmen reitiltä löytyy myös paljon välttävää ja tyydyttävää luokiteltuja vesiosuuksia. Iisalmen reitti on Kallaveden reitin läntisin haara, ja sen alkua ulottuu Pohjois-Pohjanmaalle ja Kainuuseen. Iisalmen reitin merkittävimmät järvet ovat Porovesi, Nerkojärvi, Haapajärvi, Iso-Ii, Pikku-Ii ja Onkivesi. Reitin pinta-ala on 5 583 km² ja sen järvisyys on 7,7 %. EU:n vesipuitedirektiivin velvoittamana Pohjois-Savon Ely-keskus on laatinut Pohjois-Savon vesienhoidon toimenpideohjelman vuosille 2010–2015. Toimenpi-

deohjelma koskee Pohjois-Savon alueen pohjavesiä, järviä ja jokia, ja sen tavoitteena on saavuttaa kaikkien vesiosuuksien hyvä tila vuoteen 2015 mennessä. (Pohjois-Savon Ely-keskus 2010.)

Pohjois-Savossa toteutettiin vesienhoidon tavoiteohjelma vuoteen 2005, jonka pääpaino oli ravinnekuormituksen vähentäminen. Ohjelmassa oli fosforinkuormituksen pienentämiseksi erikseen määrätty tavoitteet maataloudelle, metsätaloudelle, turvetuotannolle, yhdyskunnille ja haja-asutukselle. Nuo tavoitteet eivät kaikilta osin toteutuneet. Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015, jatkaa ravinnekuormituksen vähentämistä. Keskeiset tavoitteet ovat:

- *rehevöittävän kuormituksen vähentäminen*
- *haitallisista aineista aiheutuvan kuormituksen vähentäminen*
- *vesistöjen kunnostus sekä rakentamis- ja säännöstelyhaittojen vähentäminen*
- *pohjavesien suojelu ja hyvän laadullisen ja määrällisen tilan säilyttäminen*
- *vesiluonnonsuojelu ja vesien monimuotoisuuden turvaaminen (Pohjois-Savon Ely-keskus 2010, 15-16.)*

Vesien tilan arviointiin on tehty uusi luokittelujärjestelmä. Järjestelmässä otetaan huomioon vesien luontaiset ominaisuudet ja ihmistoiminnasta aiheutuvaa muutosta luonnontilasta. Uusia menetelmiä on kehitetty myös kuormituksen arviointiin. (Pohjois-Savon Ely-keskus 2010.)

4 JATKUVATOIMINEN MITTAUS

Aikaisemmin automaattista mittausta on käytetty lähinnä vesistöjen pistekuormituksen seurannassa, mutta jatkuvatoiminen veden laadun seuranta on yleistynyt myös hajakuormituksen tutkimukseen. Jatkuvatoiminen virtaaman seuranta on yleistynyt kuormituksen määrittämisessä. Tähän on syynä laitteiden hinnan aleneminen ja tekniikan kehittyminen. Kuvasta 1 nähdään jatkuvatoimisen mittausjärjestelmän kokonaisuus. Kuvan 1 alareunasta nähdään esimerkki, miten toiminta voi tapahtua. (Huttula ym. 2009.)



KUVA 1. Jatkuvatoiminen järjestelmä

* Esimerkki toiminnasta

Jatkuvatoimisen mittauksen kustannukset muodostuvat:

- laitehankinnoista
- asennuksista (työkulut yms.)
- huoltokuluista (esim. kalibrointi)
- laitekorjauksista
- tiedonsiirrosta (esim. GSM-verkon käyttö)
- datan käsittelystä (työkulut yms.).

(Huttula ym. 2009.)

4.1 Jatkuvatoimisen mittauksen hyödyt

Jatkuvatoimisella mittaamisella pystytään havaitsemaan pienemmät muutokset mitattavassa suuressa, kuin yksittäisillä mittauksilla. Esimerkiksi tutkittaessa ravinnekuormitusta, jatkuvatoimisella virtaaman mittaamisella voidaan suunnitella yksittäistä näytteenottoa niin, että näytteet ovat mahdollisimman edustavia. Automatisoidulla mittarilla voidaan itse säätää haluttu mittaustaajuus ja da-

tan lähetystiheys. Säädot voidaan tehdä aina tarpeen vaatiessa ilman, että kustannukset juuri muuttuvat. Esimerkiksi virtaaman seurannassa, kannattaa keväällä ja sadejaksojen aikana olla lyhyt mittaustaajuus, kun puolestaan kuivana kautena mittaustietoa ei niin paljon tarvita. Hyötynä perinteisiin mittalaitteisiin on myös se, että saatu mittaustieto on yleensä saatavilla reaaliaikaisesti sähköisessä muodossa, josta dataa voidaan käsitellä. Automatisoidulla mittaamisella on saatu uutta tietoa ravinnekuormituksen muodostumisesta. Tämän avulla voidaan kehittää uusia malleja, esimerkiksi ravinnehuuhtoumalleja. (Huttula ym. 2009.)

4.2 Laadunvarmistus

Laadukkaan datan saanti alkaa siitä, että valitaan mittauksiin sopivat ja laadukkaat anturit ja tallennimet. Antureiden ja aseman asennuspaikan valinnassa tulee kiinnittää huomiota mitattavien suureiden erityispiirteisiin. Esimerkiksi sääasemat tulisi sijoittaa avoimeen maastoon tasaiselle alustalle. Langattomia asemia käytettäessä tulisi huomioida voimalinjojen ja GSM-verkon sijainti, jottei mittauksiin tulisi häiriöitä. (Huttula ym. 2009.)

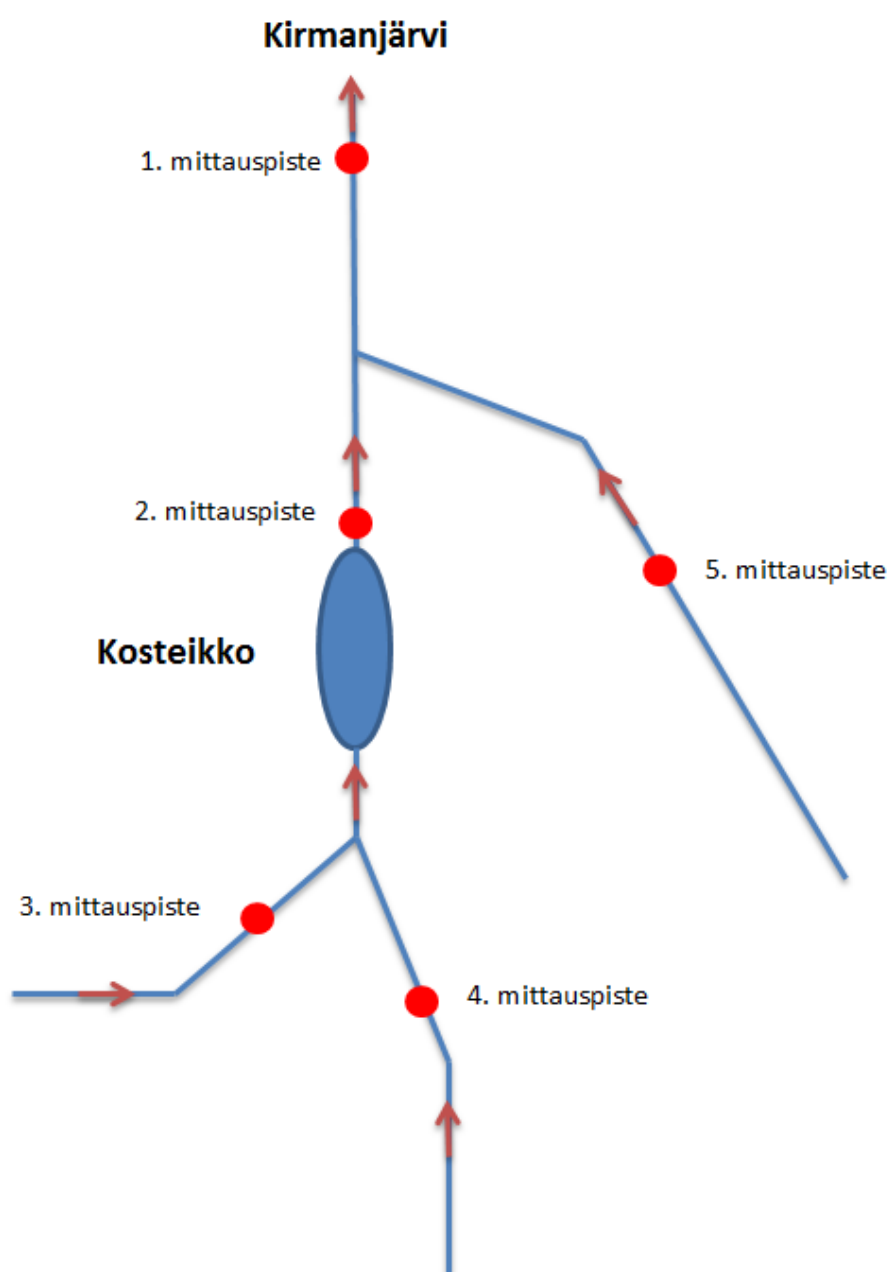
Mittauksiin saattaa tulla virheitä, vaikka ulkopuoliset häiriötekijät saadaan minimoitua. Datan laatua voidaan tarkkailla manuaalisesti silmäilemällä. Virheet voidaan tunnistaa joko suoraan numeerisesta datasta tai piirrettyjen graaffien perusteella. Usein on käytössä myös puoliautomaattinen hälytysjärjestelmä. Tuolloin järjestelmään asennetaan rajat, joiden sisällä muuttujien tulisi olla. Mikäli tulos ylittää asetetun rajan, järjestelmä antaa hälytyksen esimerkiksi tekstiviestinä. (Huttula ym. 2009.)

Manuaalinen ja puoliautomaattinen laadunvarmistus vie aikaa erityisesti, jos tarkkailtavana on useita asemia. Suurien datamäärien tarkkailuun ja laadunvarmistukseen on kehitetty automaattisia algoritmeja, jotka tunnistavat esimerkiksi systemaattisia virheitä ja poikkeamia. Laadunvarmistamisalgoritmeja käyttämällä manuaalisen tarkkailun osuus pienenee. (Huttula ym. 2009.)

Jatkuvatoimisen mittauksen virheiden tunnistamiseen voidaan käyttää yksinkertaisia automaattisia testejä. Automaattisia testejä on muun muassa puuttuvien havaintojen testi, jolloin saadaan tieto esimerkiksi silloin kun mittaustietoa ei saada, tai datassa ei ole sille tyyppistä vaihtelua. Tuolloin testi varoittaa, että havainnoissa ei ole muutoksia. Jatkuvuustestillä voidaan testata datassa olevia piikkejä. Konsistenssitestillä voidaan mitata suureiden yhdenmukaisuutta esimerkiksi silloin, kun muuttujien tulisi korreloida keskenään. Virheiden tunnistamisen jälkeen, virheet tulisi poistaa tai käsitellä niin, jotta saadaan käyttöön laadukasta dataa. (Huttula ym. 2009.)

5 MITTAUSPISTEET

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tutkimusosavaluma-alueen, sekä kolmen seuranta-alueen ominaiskuormitus. Tutkimuksen seurantaverkostoon kuului viisi mittauspistettä, ja jokaisesta pisteestä mitattiin jatkuvatoimisesti virtaamaa, sekä kerättiin kokoomavesinäytteitä. Kaikki mittauspisteet sijaitsivat ojissa. Mittauspisteet 3, 4 ja 5 valittiin niin, että saatiin vertailtua eri maankäyttöisten aluiden kuormituksia keskenään. Mittauspisteiden 3 ja 4 ojat, laskevat kosteikkoon. Kosteikon vedet laskevat mittauspisteen 2 kautta pääojaan. Edellä mainittu niin sanottu pääoja laskee Kirmanjärveen. Mittauspisteen 5 vedet laskevat pääojaan mittauspisteen 2 jälkeen. Pääojassa ennen järveä sijaitsi mittauspiste 1. Kuvassa 2 on esitetty hahmotelma ojaverkostosta, jossa mittauspisteet sijaitsivat.



KUVA 2. Ojaverkostohahmotelma

Mittauspiste 1 sijaitsee niin sanotussa pääojassa, johon laskee kaikkien muiden mittauspisteiden vedet. Tämän lisäksi pisteen vedet laskevat suoraan Kirmanjärveen. Näin ollen pisteestä saadaan mitattua koko tutkimusalueen kuormitus Kirmanjärveen. Mittauspisteen valuma-alue on noin 3 km².

Mittauspiste 2 sijaitsee pääojassa heti kosteikon jälkeen, eli on kosteikon alapuolinen mittauspiste. Pisteen valuma-alue on 99 hehtaaria. Kosteikkoon laskee vedet mittauspisteistä 3 ja 4. Näin ollen voidaan pisteiden 2, 3 ja 4 avulla määrittää, kuinka paljon kosteikko sitoo ravinteita. Sitä kautta voidaan muun muassa tutkia onko kannattavaa rakentaa maatalousalueille kosteikkoja ravinnekuormituksen pienentämiseksi. Tässä opinnäytetyössä ei tutkittu mittauspisteen 2 tuloksia.

Mittauspiste 3 sijaitsee peltovaltaisella seuranta-alueella. Mittauspisteen valuma-alue on noin 30 hehtaaria, ja alue on 100 % peltomaatalousalue. Alueella viljellään nurmea ja rehuviljaa. Pisteen vedet laskevat kosteikkoon.

Mittauspiste 4 sijaitsee niin sanotusti pelto- ja metsävaltaisella seuranta-alueella. Mittauspisteen valuma-alue on noin 54 hehtaaria. Seuranta-alueesta puolet on peltomaataloutta ja puolet metsämaataloutta. Pisteen vedet laskevat kosteikkoon.

Mittauspiste 5 sijaitsee metsävaltaisella seuranta-alueella. Mittauspisteen valuma-alue on noin 93 hehtaaria, ja alue on lähes 100 % metsätalousaluetta. Seuranta-alueella sijaitsee pistekuormittaja, joka nostaa alueelta huuhtoutuvan fosforin määrää. Pisteen vedet laskevat pääojaan kosteikon jälkeen ennen mittauspistettä 1. Näin ollen pistekuormittaja tulee ottaa huomioon myös mittauspisteen 1 tuloksissa.

6 MITTALAITTEET

Jokiaisesta mittauspisteestä mitattiin jatkuvatoimisesti virtaamaa ja kerättiin kokoomavesinäytteitä. Tutkimuksessa oli käytössä kaksi erilaista jatkuvatoimista automaattista virtaaman mittausmenetelmää, joiden tuloksia täydennettiin ja varmennettiin tarvittaessa käsimittarilla saaduilla virtaamatuloksilla. Jatkuvatoimisten mittareiden mittaus tieto tallentui akku- tai paristokäyttöisiin dataloggereihin, joista tiedot käytiin manuaalisesti purkamassa. Jokaiseen mittauspisteeseen oli rakennettu lämmitettävät näytteenottokopit, joihin näytteenottolaitteistot ja dataloggerit oli sijoitettu.

Mittauspisteissä 3, 4, ja 5, oli käytössä painemittaus yhdistettynä V-patoon. Mittauspisteissä 1 ja 2 oli puolestaan käytössä akustinen virtaamamittaus. Tämän lisäksi alueelle pystytettiin sääasema, josta saatiin jatkuvatoimisesti sää tietoja.

6.1 Paineanturi + V-pato

Virtaaman jatkuvatoiminen mittaus mittauspisteissä 3, 4, ja 5 perustui paineanturin ja V-padon yhdistelmään. Virtaaman laskemiseen tarvittiin paineantureilla saatavia tietoja ja V-padosta manuaalisesti mitattuja veden korkeustietoja. Paineanturin kalibroimiseksi mitattiin manuaalisesti vedenpinnan korkeus padon V-aukosta. Näin saatiin paineanturin data muutettua jatkuvaksi vedenpinnan korkeustiedoksi. Paineanturin mittaustajuuks oli tunti, joten myös vedenkorkeustietoa oli tunnin välein. Vedenpinnan korkeustieto saatiin muutettua virtaamaksi kaavalla 1.

$$Q = 0,01416 * h^{2/5} \quad (1)$$

missä Q = virtaama (l/s)

h = veden korkeus patoaukon pohjasta (cm)

Kaavan 1 arvoon 0,01416 vaikuttaa mm. veden purkautumiskerroin ja purkautumisaukon kulma. (Kupiainen 2010, 32.)

6.1.1 V-pato

Tutkimuksessa käytetty V-pato, eli V-aukkoinen Thompsonin mittapato, on yleisesti käytössä Suomessa virtaamamittauksessa silloin, kun virtaama on alle 1500 m³/d, mutta kuitenkin yli 4,3 m³/d. (Kukkonen 2012, 13.) Thompsonin kolmiomittapadolla voidaan mitata, vielä jopa 4000 m³/d virtaamia, mutta suuria virtaamia mitattaessa käytetään yleensä Chipollet'n puolisuunnikasaukkoista mittapatoa tai siivikkomittausta. (Kupiainen 2010, 26.)

Mittapadon rakentaminen vaatii sen, että uoma on riittävän kalteva, mikä sallii padotuksen ja vapaan ylisyyksyn. Uoma on riittävän kalteva sen ollessa yli 1 ‰ (metrin pudotus 100 metrin matkalla). Lisäksi patoa asentassa tulee kiinnittää huomiota virtauksen lähestymisnopeuteen, eroosiosuoja-

ukseen sekä siihen, että patoseinämät ovat riittävän syvällä uoman seinissä ja pohjassa. (Kupiainen 2010, 27.)

Tutkimuksessa käytettiin kolmiomittapatoja, joiden kärkikulma oli 90°. Lisäksi purkautumisaukko oli 45° kulmassa, jotta virtausprofiiliin ei tullut häiriöitä ja taipumista. Mittapadon mitoituksella ja toteutuksella on vaikutusta virtaamadatan luotettavuuteen. Mittapadon toimintaan tulee virheitä myös oikein mitoitettussa mittapadossa. Yleisiä toimintavirheitä aiheutuu padon jäätyessä, esteiden kulkeutuksessa patoaukkoon ja altaan liettyessä, sekä ohivuototilanteissa. (Kupiainen 2010, 27.) Seuraavassa kuvassa (KUVA 3) on esimerkki tilanteesta, jolloin kasveja oli kerääntynyt V-aukkoon.



KUVA 3. Kasveja V-aukossa. MTT. Valokuva Mari Rätty 2011

Tutkimuksessa käytetty mittapato toimi hyvin, eikä havaittu että pato olisi vuotanut reunoilta tai pohjasta. Kasvillisuutta kertyi jonkun verran patoaukkoon, mutta kenttäpäivien yhteydessä kertynyt kasvillisuus poistettiin. Lumen suuri määrä ja sen nopea sulaminen aiheutti keväällä sen, että ojat tulvivat. Virtaamahuippujen aikana vesi tulvi padon yli, joten sen ajan tuloksia ei voida pitää täysin luotettavina. Liitteeseen 1 on koottu esimerkkihavaintoja mittauspisteistä ja tehdyistä toimenpiteistä.

6.1.2 STS DL/N series 70 -paineanturi

STS DL/N series 70 -paineanturi sopii pohja- ja pintavesien jatkuvaan seurantaan. Tyypillisesti paineanturia käytetään veden korkeuden määrittämiseen pohjavesistä, kaivoista, porausreistä, järvistä ja joista. Paineanturilla voidaan mitata kolmea eri muuttujaa, jotka ovat sähkönjohtavuus, lämpötila ja paine tai pinnankorkeus. Dataloggeri ei juuri tarvitse huoltoa. Laitteessa on diafragma, joka ei saa vahingoittua. Tämän vuoksi tulee varoa esimerkiksi terävien työkalujen käyttöä. Dataloggerin puhdistukseen ei saa käyttää teräviä työkaluja tai aggressiivisia puhdistusnesteitä. Puhdistusväli riippuu siitä, kuinka likaisessa vedessä laitetta käytetään. Laitteella voidaan mitata 0-250 mvp (metriä vesipatsasta) ja lämpötilaa -5-50 °C. Mittausväli voidaan itse säätää 0,5 sekunnista 24 tuntiin.

Mittausepävarmuus 1-5 mvp on 0,25 %, ja 5-250 mvp on 0,1 %. Dataloggeri tallentaa painearvot ja lämpötilat, ja se voi tallentaa 500 000 mitattua arvoa. Dataloggerin tarkkuus on 0,01 %. Tutkimuksessa käytettiin paineanturin (KUVA 4) mittaustaajuutena yhtä tuntia. Jokainen mittaustulos tallentui kellonajan ja päivämäärän mukaan. (Operating manual STS 2013.)



KUVA 4. Paineanturi. Valokuva Hanna Kröger 2013

6.2 StarFlow Ultrasonic Doppler Instrument model 6526-virtaamamittari

StarFlow virtaamamittari on akustinen mittari, joka toimii ultraäänen perusteella. Laite mittaa veden lämpötilaa, syvyyttä ja virtausnopeutta, niin puhtaasta vedestä, kuin jätevedestäkin. Anturi on integroitu dataloggeriin, jonka muisti on 100 KB. Mittaria käytetään yleensä mitattaessa virtaamaa joissa, puroissa, avoimissa viemäreissä ja suurissa putkissa. Kuvasta 5 nähdään tutkimuksessa käytössä ollut StarFlow -virtaamamittarin anturi. Anturi kiinnitettiin levyyn, jonka avulla anturi saatiin pysymään ojan pohjalla. (Unidata.)



KUVA 5. StarFlow-anturi. Valokuva Hanna Kröger 2013

Anturi asennetaan uoman pohjaan, josta se mittaa veden syvyyttä ja virtausnopeutta mittarin yläpuolelta. Mitattaessa virtausnopeutta avoimesta uomasta, StarFlow hyödyntää veden mukana liikkuvia partikkeleita ja ilmakuplia. Tämän vuoksi vesi ei saa olla "täysin puhdasta". Virtausnopeuden mittaustapahtuu niin, että äänen heijastuessa liikkuvasta kohteesta, äänen taajuus muuttuu liikkuvan kohteen mukaan. Laite mittaa virtausnopeuden 2 % tarkkuudella. Starflow kiinnitetään uoman poh-

jaan, josta se antaa akustisen säteen 30° kulmassa vaakatasoon nähden. Mittausvirhe kasvaa, mikäli laite on asennettu väärään kulmaan. (Unidata.)

Veden syvyyden StarFlow mittaa hydrostaattisellapaineanturilla. Syvyyden mittaus perustuu veden hydrostaattiseen paineeseen ja ilmanpaineeseen anturin yläpuolella. Veden syvyyden laite mittaa 0,25 % tarkkuudella. Veden lämpötilan Starflow puolestaan määrittää kaiun perusteella. Lämpötilan mittaus perustuu siihen, että lämpötilalla on vaikutusta äänen nopeuteen vedessä. Lämpötilan mitta-alue on $-17 - 60\text{ }^\circ\text{C}$, ja sen resoluutio on $0,1\text{ }^\circ\text{C}$. (Unidata.)

Laitteeseen voidaan ohjelmoida tiedot uomasta, minkä avulla laite voi määrittää uoman poikkipinta-alan. Esimerkiksi mitattaessa virtaamaa putkesta syötetään laitteeseen putken halkaisija, jonka avulla laite määrittää poikkipinta-alan. Tutkimuksessa virtaama määritettiin ojauomasta, jolloin uoman muoto täytyi rakentaa koordinaatistoon. Laite laskee lopulta virtaaman virtausnopeuden, pinnankorkeuden ja uoman syöttötietojen avulla. StarFlow -virtaamamittaria käytettiin pääasiassa mittauspisteessä 1 ojauomassa, ja vuonna 2012 myös mittauspisteessä 2 tierumpuun sijoitettuna. Mittaustaajuutena käytettiin 15 minuuttia.

6.3 FlowTracker -virtaamamittari

FlowTracker -virtaamamittari on manuaalikäyttöinen, ja sillä voidaan mitata veden virtausnopeutta ja lämpötilaa. Laitteen toiminta perustuu 2D-mittaukseen, mutta tarvittaessa myös 3D-mittaukseen. Laitteella voidaan mitata virtausnopeutta väliltä $0,001 - 4,0\text{ m/s}$, $0,0001\text{ m/s}$ tarkkuudella. Mittari toimii $0,03 - 1,4\text{ m}$ syvyydessä. Laite voi tallentaa 150 000 yksittäistä virtaamanäytettä, ja tekee suoraan ATK-tiedostot ja mittausraportit. (Sontek.)

Avoimen uoman poikki vedetään mittanaru, jonka avulla määritetään mittauspisteet. Jokaisesta pisteestä tehdään mittauksia eri syvyyksistä riippuen siitä, onko virtaus laminaarista vai turbulenttista. Syvyys säädetään mittatangon avulla ja anturi kiinnitetään tankoon pidikkeillä. Tangon yläosassa on pidike mittalaitteen näytölle ja vatupassi, jonka avulla anturi saadaan vaakasuoraan. Ohjausyksiköön syötetään tiedot veden syvyydestä ja mittauspaikasta, jolloin saadaan rakennettua kuva uoman poikkileikkauksesta. Määritetyn poikkileikkauksen ja mitatun virtausnopeuden avulla laite laskee virtaaman.

Kuvasta 6 nähdään FlowTracker -virtaamamittarin kaikki osat salkussaan. Kuvassa 7 on esitetty tarkempi kuva laitteen näytöstä.



KUVA 6. FlowTracker-laite. Valokuva Hanna Kröger 2013



KUVA 7. FlowTracker-näyttö.
Valokuva Hanna Kröger 2013

Käsimittaria käytettiin täydentämään jatkuvatoimisia virtaamamittauksia ja varmistamaan tietojen oikeellisuutta. Mittauksia tehtiin uomista aikaisemmin mainitulla mittaustavalla, jolloin laite laski virtaaman.

Lisäksi virtaama määritettiin tierummuista. Tierummuista virtausnopeus mitattiin mittauspisteiden lähellä olevien betonisten tierumpujen suulta, mistä veden poikkipinta-ala oli helpompi laskea, kuin epäsäännöllisen mallisesta ojauomasta. Tierumpujen halkaisijat vaihtelivat 80 senttimetristä 130

senttimetriin. Rummusta mitattiin manuaalisesti mittaushetkellä oleva veden korkeus, jota käyttämällä saatiin laskettua veden poikkipinta-ala seuraavalla kaavalla 2.

$$A = \frac{\alpha}{360^\circ} * \pi * r^2 \pm (a * b) \quad (2)$$

missä A = segmentin pinta-ala (eli veden poikkipinta-ala) (cm²)
 α = keskuskulma (°)
 r = tierummun säde (cm)
 a = keskuskolmion korkeus (cm)
 b = keskuskolmion kanta (cm)

Mikäli veden korkeus oli suurempi, kuin rummun säteen pituus, lisättiin kaavaan keskuskolmion ala. Veden korkeuden ollessa pienempi, kuin rummun säteen pituus, vähennettiin keskuskolmion ala. Kun pinta-ala oli laskettu ja muutettu muotoon m², saatiin virtaama laskettua seuraavalla kaavalla 3.

$$Q = A * v \quad (3)$$

missä Q = virtaama (m³/s)
 A = pinta-ala (m²)
 v = virtausnopeus (m/s)

Käsimittarilla mitattiin virtausnopeutta ojista kenttäpäivinä. Mittauksen aikana saaduista virtausnopeustuloksista laskettiin keskiarvo, jota käytettiin virtaaman laskemiseen. Käsimittarin virtaamatuloksia verrattiin jatkuvatoimisiin virtaama-arvoihin. Käsimittari sopi hyvin virtaaman mittaukseen silloin, kun ojat tulvivat (KUVA 8).



KUVA 8. Kevättulva. MTT. Valokuva Mari Rätty 2011

6.4 Endress+Hauser Liquiport 2000 RPT20 -vesinäytteenotin

Endress+Hauser Liquiport on keräävä vesinäytteenotin (KUVA 9). Näytteenotto voidaan säätää aikapainotteisesti tai virtaamapainotteisesti (KUVA 10). Aikapainotettu näytteenotto tarkoittaa sitä, että tietty määrä näytettä otetaan säädetyn ajan mukaan esimerkiksi kerran vuorokaudessa. Virtaamapainotettu näytteenotto puolestaan tarkoittaa sitä, että näytettä kerätään enemmän silloin, kun virtaama on suurempaa. Näytepullot on sijoitettu näytteenottimen alempaan lokeroon (KUVA 11). Näytteenottimessa on myös lokero murskatulle jäälle, jotta näytteet voidaan tarpeen vaatiessa säilöä kylmässä. Näytteenottimeen mahtuu erikokoisia näytteenottopulloja. Laitteeseen voidaan asentaa pulloja omien tarpeiden mukaan seuraavasti:

- 1 x 20 l (PE)
- 24 x 1 l (PE)
- 12 x 2 l (PE)
- 12x 1 l + 6 x 2 l (PE)
- 1 x 5 l (lasi)
- 12 x 0,7 l (lasi)
- 8 x 1,8 l (lasi)

(Endress+hauser.)

Näytteenotin kerää vesinäytteen 5 ml tarkkuudella. (Endress+hauser.)



KUVA 9. Vesinäytteenotin.

Valokuva Hanna Kröger 2013



KUVA 10. Vesinäytteenotimen näyttö.

Valokuva Hanna Kröger 2013



KUVA 11. Vesinäytteenotimen alempi lokero pulloineen. Valokuva Hanna Kröger 2013

Näytteenottimet sijaitsivat jokaisessa viidessä mittauspisteessä. Jokaisessa näytteenottimessa oli 24 kappaletta 1 litran pulloja. Näytteenotto oli aika painotettua niin, että virtaaman ollessa suurta esimerkiksi keväällä lumensulamisen aikaan 1,0 l näyte koostettiin 50 ml:n osanäytteistä kahden vuorokauden aikana. Kuivana aikana yksi 1,0 l näyte koostettiin 50 ml osanäytteistä viiden vuorokauden aikana. Kentältä noutamisen jälkeen näytteet säilytettiin + 4 °C lämpötilassa.

7 LABORATORIOMÄÄRITYKSET

Opinnäytetyössä tarkasteltiin tutkimusalueelta tulevaa kokonaisfosforia, liukoista fosforia, kokonaistyyppiä ja kiintoainesta. Liukoiselle fosforille on käytössä useita nimityksiä esimerkiksi liukoinen reaktiivinen fosfori, DRP (Dissolved Reactive Phosphorus), mutta kaikilla tarkoitetaan biologisesti välittömästi käyttökelpoista fosforia. Pitoisuudet määritettiin kokoomavesinäytteistä. Jokaisessa viidesä mittauspisteessä oli jatkuvatoiminen vesinäytteenotin, joka keräsi näytteen aikapainotettuna kokoomavesinäytteenä. Tavallisesti tuo litran vesinäyte koostettiin kahden tai viiden vuorokauden aikana.

Pitoisuudet määritettiin laboratoriossa MTT:n päätoimipisteessä Jokioissa. Laboratoriomääritykset perustuivat seuraaviin standardien sovelluksiin:

- *SFS 3026*, sov. (Veden kokonaisfosforin määrittäminen. Hajotus peroksidisulfaattilla 1986.) Standardi on kumottu vuonna 1997 standardilla *SFS-EN 1189*.
- *SFS 3025*, sov. (Veden fosfaatin määrittäminen 1986.) Standardi on kumottu vuonna 1997 standardilla *SFS-EN 1189*.
- *SFS 3031*, sov. (Veden typen määrittäminen. Peroksidisulfaatti hapetus 1990.) Standardi on kumottu vuonna 1998 standardilla *SFS-EN ISO 11905-1*.
- *SFS-EN 872*, sov. (Veden kiintoaineen määrittäminen 1996.)

(Räty 2013, henkilökohtainen tiedonanto; Pehkonen 2013.)

Vuoden 2012 keväällä näytteet analysoitiin eri laboratoriossa. Laboratorion vaihdon seurauksena liukoinen fosfori määritettiin liukoisena kokonaisfosforina huhti-toukokuun osalta. Tämä muutos tulee huomioida vuoden 2012 huhti-toukokuun liukoisen fosforin tuloksissa. (Räty, henkilökohtainen tiedonanto.)

Laboratorio antoi tulokset muodossa mg/l tai µg/l. Laboratorio tulosten perusteella määritettiin päivittäinen kuormitus kaavalla 4.

$$C = \frac{Q_{\text{kesk}} * c * (60 * 60 * 24)}{1000 * 1000} \quad (4)$$

missä C = päivittäinen kuormitus (kg/d)

Q_{kesk} = vuorokauden keskimääräinen virtaama (l/s)

c = näytteen pitoisuus (mg/l)

7.1 Kokonaisfosfori

Kokonaisfosforin määrittäminen tapahtui suodattamattomasta ja hapetetusta liuksesta. Näyte hapetettiin niin, että näytteeseen lisättiin kaliumperoksidisulfaattiliuosta (50 g $K_2S_2O_8$ 1 000 ml:n 0,12 M rikkihappoa (H_2SO_4)). Tämän jälkeen näyte autoklavoitiin 200 kPa 30 minuuttia. Fosforipitoisuus mitattiin Skalar-autoanalysaattorilla 880 nm aallonpituudella. (Räty, henkilökohtainen tiedonanto.)

7.2 Liukoinen fosfori

Liukoisen fosforin määrittäminen alkoi sillä, että näyte suodatettiin imusuodatuksella kalvosuodattimella Whatman PC MB 47 mm huokoskoolla 0,2 µm. Tämän jälkeen fosforipitoisuuden mittaaminen tapahtui Skalar-autoanalysaattorilla 880 nm aallonpituudella. (Räty, henkilökohtainen tiedonanto.)

7.3 Kokonaistyyppi

Kokonaistyyppi määritettiin suodattamattomasta ja hapetetusta liuoksesta. Kokonaistyyppien määrittäminen alaraja oli 2 mg/l. Näyte hapetettiin kaliumperoksidisulfaattiliuoksella (10 g K₂S₂O₈ 1 000 ml:n 0,12 M natriumhydroksidia (NaOH)). Tämän jälkeen näyte autoklavoitiin 200 kPa 30 minuuttia. Kokonaistyyppipitoisuus mitattiin Skalar-autoanalysaattorilla nitraattina. (Räty, henkilökohtainen tiedonanto.)

7.4 Kiintoaine

Kiintoaine määrittäminen tapahtui suodattamalla. Kiintoaine määrittäminen alaraja oli 2 mg/l. Näyte suodatettiin borosilikaatti-lasikuitusuodattimen huokoskoolla 0,45 µm läpi vakuumi- tai painesuodatuslaitteen avulla. Tämän jälkeen suodatin kuivattiin 105 ± 2 °C lämpötilassa ja suodattimen massa punnittiin tarkkuudella 0,1 mg. (Räty, henkilökohtainen tiedonanto.) Kiintoainepitoisuus lasketaan kaavalla 5.

$$\rho = \frac{1000 * (m_2 - m_1)}{V}$$
(5)

missä ρ = kiintoainepitoisuus (mg/l)
 m_2 = suodattimen massa punnituksen jälkeen (mg)
 m_1 = suodattimen massa ennen suodatusta (mg)
 V = näytteen tilavuus (ml) (SFS-EN 872 1996.)

8 DATAN KÄSITTELY JA OMINAISKUORMITUKSEN MÄÄRITYS

8.1 Raakadatan käsittely

Raakadata tiedosto saatiin MTT:ltä. Raakadata oli peräisin mittauspisteestä 3, jossa virtaama määritettiin V-pato paineanturi yhdistelmällä. Mittauksia oli ajalta 1.4.2011–1.10.2012, ja mittaustaajuus oli yksi tunti. Data sisälsi mittauspäivämäärät ja -kellonajat, paineanturin lukeman (mmWS) ja lämpötilan (°C). Raakadatan lisäksi excelissä oli taulukko, johon oli koottu V-aukosta manuaalisesti mitatut vedenpinnan korkeudet. Näiden tietojen avulla paineanturi kalibroitiin mittapatoon. Lisäksi tiedostoon oli laskettu virtaama (l/s).

Datan käsittely alkoi sillä, että selvitettiin, kuinka mittaukset, paineanturin kalibrointi patoon ja virtaaman laskeminen oli tehty. Vedenpinnan korkeus saatiin paineanturin ja V-aukosta manuaalisesti mitatun veden korkeuden avulla. Paineanturit mittasivat veden korkeutta V-patojen yhteydessä jatkuvatomaisesti tunnin mittaustaajuudella. Kenttäpäivien aikana mitattiin veden pinnan korkeus V-aukosta manuaalisesti, ja mittaushetken kellonaika kirjattiin ylös.

Raakadataa jouduttiin vuoden 2011 kevätulannan aikaan suodattamaan, sillä valunnan alkuvaiheessa paineanturin päälle vedenpintaan muodostui jääkerros. Lisäksi vesi patoutui, jolloin vedenpinta nousi. Nämä heijastuivat paineanturin antamiin lukemiin, joiden perusteella olisi saatu poikkeuksellisen suuria virtaamia, mitkä eivät olleet todellisia. Näin ollen paineanturin antama data suhteutettiin kentällä tehtyihin havaintoihin.

Raakadatan excel-tiedostoa muokattiin niin, että se oli helppo siirtää matlab-ohjelmaan. Matlabilla määritettiin lämpötilalle, mitatulle paineelle, korjatulle paineelle ja virtaamalle tunnusluvut, eli mini-, maksimi- ja keskiarvot sekä keskihajonta (TAULUKKO 1). Lisäksi piirrettiin virtaamakuvaajat, joiden avulla pystyttiin muun muassa analysoimaan mittausvirheitä.

Koska raakadataa oli vajaalta kahdelta vuodelta, määritettiin tunnusluvut vielä erikseen vuosille 2011 ja 2012 samalta ajanjaksolta. Näin ollen tunnuslukujen avulla oli helpompi vertailla eri vuosia. Tunnusluvut määritettiin matlabilla ajalta 1.4.–1.10.2011 (TAULUKKO 2) ja 1.4.–1.10.2012 (TAULUKKO 3).

Matlabia käyttämällä tutkittiin vielä datan laatua, muun muassa aikasarja-, korrelaatio- ja histogrammikuvaajien avulla, jotka on esitetty raakadatan tarkastelussa osana tämän työn tuloksia.

8.2 Ominaiskuormituksen määrittäminen

Kirmanjärven osavaluma-alueiden ominaiskuormitus määritettiin MTT:ltä saadun excel-muotoisen tiedoston avulla, johon oli määritetty keskiarvo vuorokausi virtaamalle (l/s), muuttujien laboratoriotulokset (mg/l), sekä pH ja sähkönjohtokyky ($\mu\text{S}/\text{cm}$) -tiedot. Lisäksi tiedostoon oli laskettu laboratoriotuloksien perusteella päivittäiskuormitus (kg/d) kaavalla (4). Muuttujat tiedostossa olivat:

- liukoinen fosfori
- kokonaisfosfori
- ammoniumtyppi
- nitraattityppi
- kokonaistyyppi
- kiintoaine
- DOC
- liukoinen kalsium.

Jokaiselle mittauspisteelle oli luotu oma excel-sivu. Tiedostossa oli koko tutkimusajan tiedot eli vuoden 2010 heinäkuusta vuoden 2012 loppuun.

Datan käsittely alkoi sillä, että tehtiin oma excel- tiedosto, johon koottiin pelkästään työssä tarkasteltavat tiedot. Työssä tarkasteltaville mittauspisteille, eli mittauspisteille 1, 3, 4 ja 5, tehtiin kullekin oma excel-sivu. Sivulle otettiin ainoastaan vuosien 2011 ja 2012 virtaamatiedot (vuorokausikeskiarvot l/s, l/d ja m³/d), sekä liukoinen fosfori-, kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi- ja kiintoaines- tiedot (vuorokausikeskiarvot mg/l ja kg/l).

Uuden datatiedoston luonnin jälkeen, tutkittiin miltä päiviltä mittaustiedot puuttuvat. Puuttuvat mittausjaksot on koottu taulukkoon (TAULUKKO 4). Tämän jälkeen laskettiin jokaiselle mittauspisteelle ominaiskuormitus seuraavalla kaavalla 6.

$$o = \frac{L}{A} \quad (6)$$

missä o = ominaiskuormitus (kg/ha/a)
 L = vuosittainen kuormitus (kg/a)
 A = valuma-alueen pinta-ala (ha)

Kaavassa oleva vuosittainen kuormitus L saatiin laskemalla vuoden jokaisen päivän päivittäinen kuormitustulos (kg/d) yhteen. Kun ominaiskuormituskuvut kullekin osavaluma-alueelle oli laskettu, arvioitiin tulosten oikellisuutta. Lisäksi tehtiin mittausepävarmuustarkastelu ja laskettiin tuloksille mittausepävarmuus.

8.3 Virtaamanmääritys

Virtaamakuvaajat piirrettiin aikajaksokuvaajina annetun datatiedoston pohjalta. Virtaamakuvaajia verrattiin säätietoihin. Koska tutkimusalueen sääaseman tuloksissa oli puutteita, ja tiedot vaativat käsittelyä ennen hyödyntämistä, päädyttiin käyttämään Ilmatieteenlaitokselta saatuja sademäärätietoja. Tutkimusalue sijaitsi noin keskivaiheilla Ilmatieteenlaitoksen Vieremän Kaarakkalan ja Maaninگان sääasemia. Tämän vuoksi päädyttiin käyttämään noiden sääasemien keskiarvoja. Ilmatieteenlaitokselta saatiin molemmilta sääasemilta päivittäiset sademäärät (mm). Excelliin määritettiin päivittäis-

nen sadanta kahden aseman sadannan keskiarvona. Sademäärät päädyttiin esittämään kuukausisummina (KUVIO 14).

Virtaamatuloksia verrattiin myös VEMALA-mallilla saatuihin simulaatiokuvaajiin. Suomen ympäristökeskuksella käytössä olevasta Vesistömallijärjestelmästä poimittiin 6.8.2012 tutkimusosavaluma-alueelle mallilla määritetyt simuloidut virtaamat. Excelillä piirrettiin vuosille 2011 ja 2012 simuloidut virtaamakäyrät kuvaajaan. Samaan kuvaajaan (KUVIO 13) otettiin mittauspisteen 1 summavirtaamat, jolloin saatiin helposti verrattua käyriä keskenään.

Mittausjaksolta 2011–2012 puuttui ominaiskuormituksen määrittelyn kannalta tärkeitä mittaustuloksia virtaamasta. Mittauspisteestä 1 puuttui kesä-ajalta noin viideltä kuukaudelta ja mittauspisteestä 5 noin kuukaudelta tuloksia. Jotta ominaiskuormitus saatiin määritettyä, tuli puuttuville tuloksille tehdä arvio. Virtaama-arvio tehtiin aikaisempien tulosten ja muiden mittauspisteiden tulosten perusteella. Tehtyjä virtaama-arvioita pystyttiin tarkastelemaan vertaamalla summavirtaamia VEMALA-mallin simuloituihin virtaamiin.

9 RAAKADATAN TARKASTELU

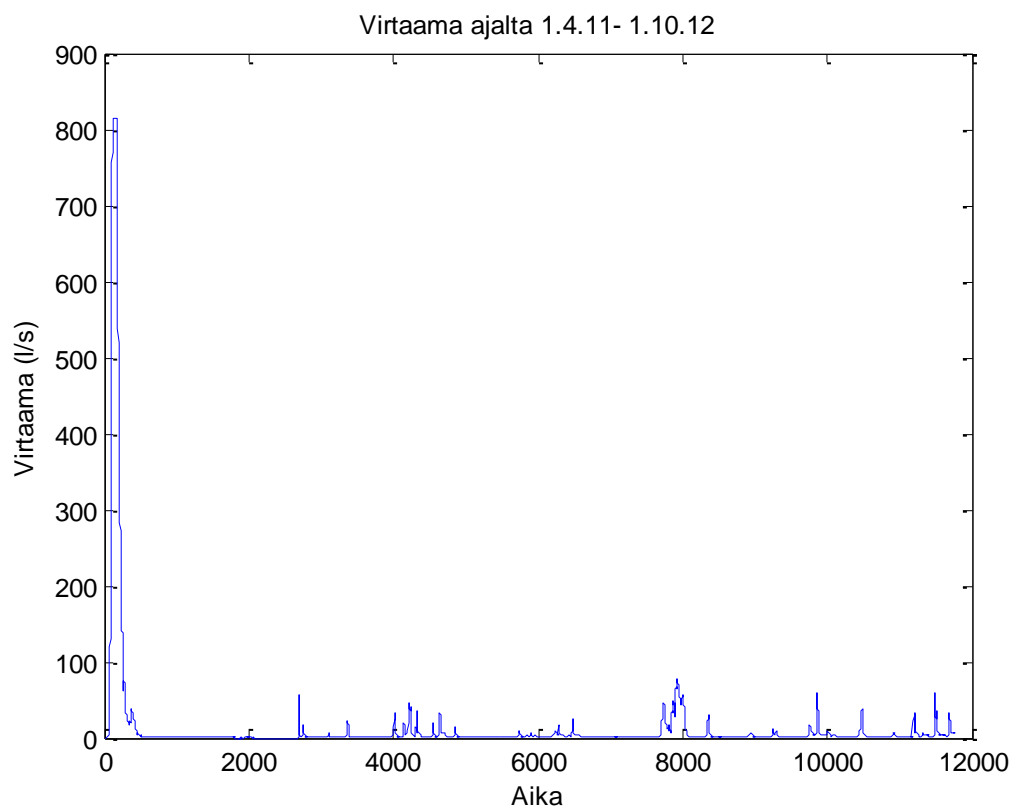
Jatkuvatoimisista mittauksista saadun raakadatan tarkastelu tehtiin 3. mittauspisteen paineanturimittauksille. Raakadata saatiin MTT:ltä Excel-taulukkolaskentaohjelman muodossa. Raakadataa oli ajalta 1.4.2011–1.10.2012, ja se sisälsi paine- ja lämpötilamittaukset. Lisäksi tiedostoon oli koottu V-aukosta manuaalisesti mitatut vedenkorkeudet, ja manuaalisesti mittattujen vedenkorkeustietojen ja jatkuvatoimisesti mitattujen painetietojen perusteella lasketut vedenkorkeudet. Jatkuvatoimisen seurannan mittaustaajuutena oli yksi tunti, ja manuaalisia mittauksia tehtiin vuodessa noin parikymmentä. Raakadata tarkastelu tapahtui Matlab-ohjelmalla.

9.1 Raakadatatulokset

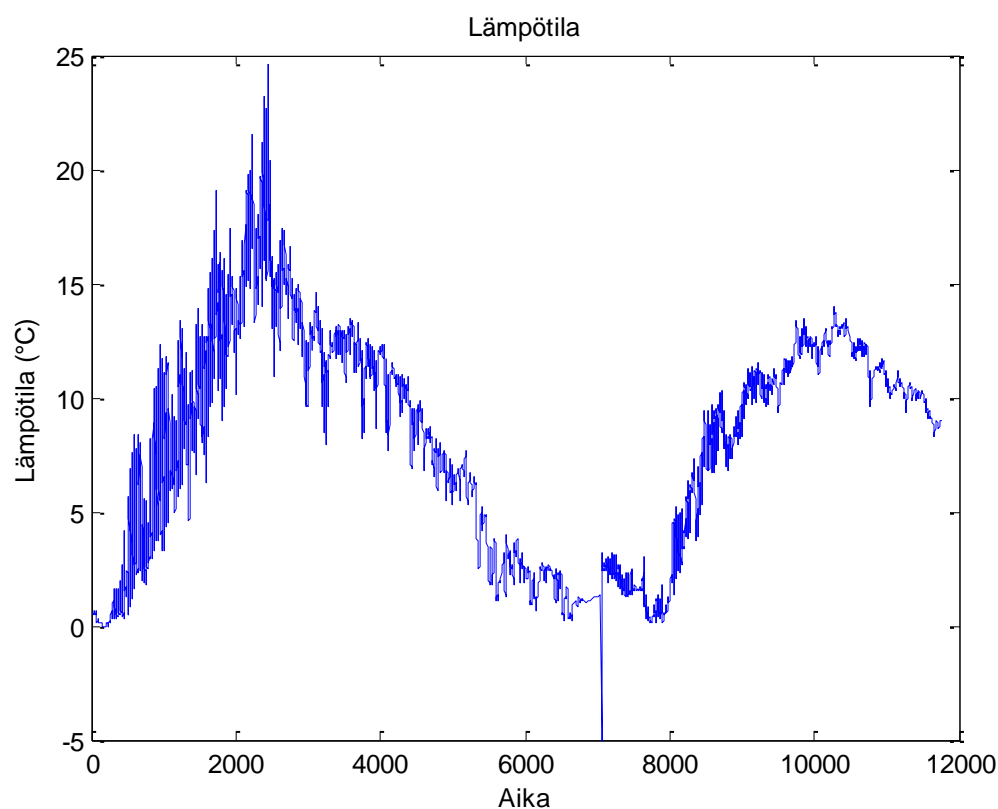
Seuraavaan taulukkoon (TAULUKKO 1) on koottu raakadatan tunnusluvut, eli minimi-, maksimi- ja keskiarvot sekä keskihajonnat. Kuvaajista nähdään Matlab-ohjelmalla määritetty koko mittausjakson virtaama (KUVIO 1) ja lämpötila (KUVIO 2).

TAULUKKO 1. Tunnusluvut ajalta 1.4.2011- 1.10.2012

	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Keskihajonta
Lämpötila (°C)	-5	24,6	8	4,8
Paine (cmWC)	-2,1	111,5	27	11,3
Korjattu paine (cmWC)	-20,5	80,2	6,7	9,6
Virtaama (l/s)	0	814,6	11,8	73,9



KUVIO 1. Koko mittausjakson virtaama



KUVIO 2. Lämpötila ajalta 1.4.11- 1.10.12

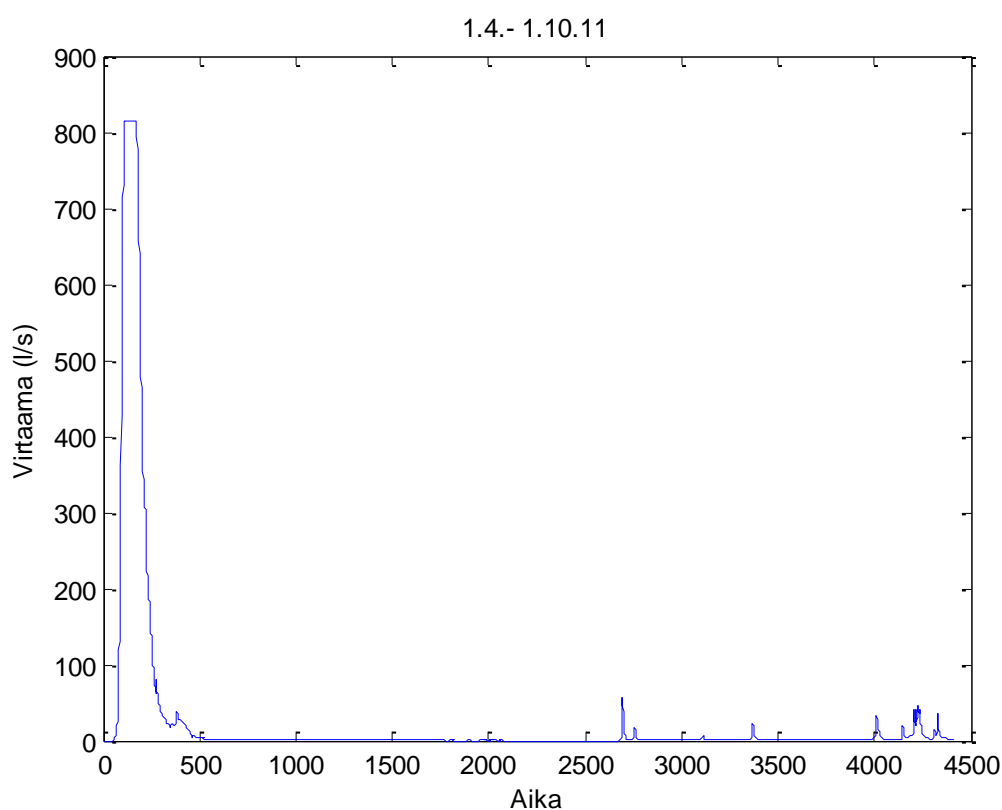
Jotta eri vuosien tuloksia pystyttiin paremmin vertailemaan, tehtiin erilliset raakadatatarkastelut vuosille 2011 ja 2012. Tarkastelujaksoiksi valittiin 1.4.–1.10, koska tuo aika oli molempina vuosina sulaa-aikaa, ja näin ollen tuloksia on tuolta ajalta molemmilta vuosilta.

9.1.1 Raakadatatulokset vuodelta 2011

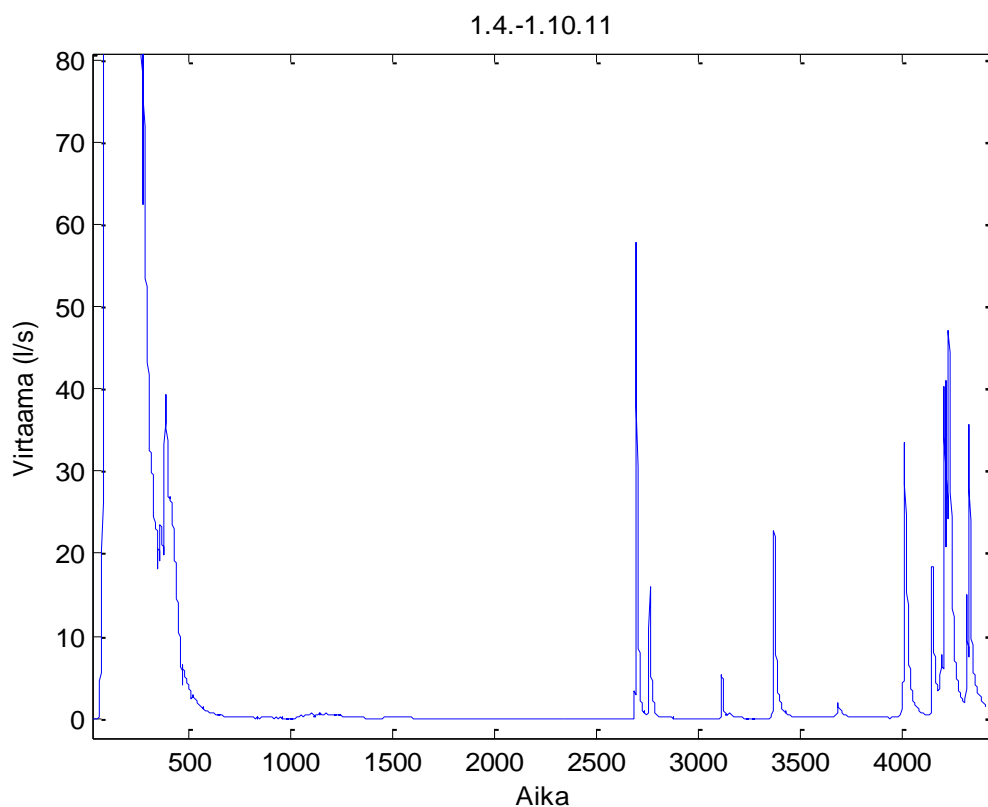
Seuraavasta taulukosta (TAULUKKO 2) nähdään raakadatan tunnusluvut vuoden 2011 tarkastelujaksoilta. Kuvaajasta (KUVIO 3) nähdään vuoden 2011 virtaamakuvaaja. Kuvaajassa (KUVIO 4) on tarkempi kuva saman ajanjakson virtaamasta, jotta virtaamaa voidaan helpommin verrata vuoden 2012 tarkastelujakson virtaamaan.

TAULUKKO 2. Tunnusluvut ajalta 1.4.–1.10.2011

	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Keskihajonta
Lämpötila (°C)	0	24,6	10,1	5
Paine (cmWC)	2,4	111,5	25,5	16,9
Korjattu paine (cmWC)	-16,1	80,2	5,9	14,2
Virtaama (l/s)	0	814,6	24,5	119



KUVIO 3. Vuoden 2011 virtaamakuvaaja



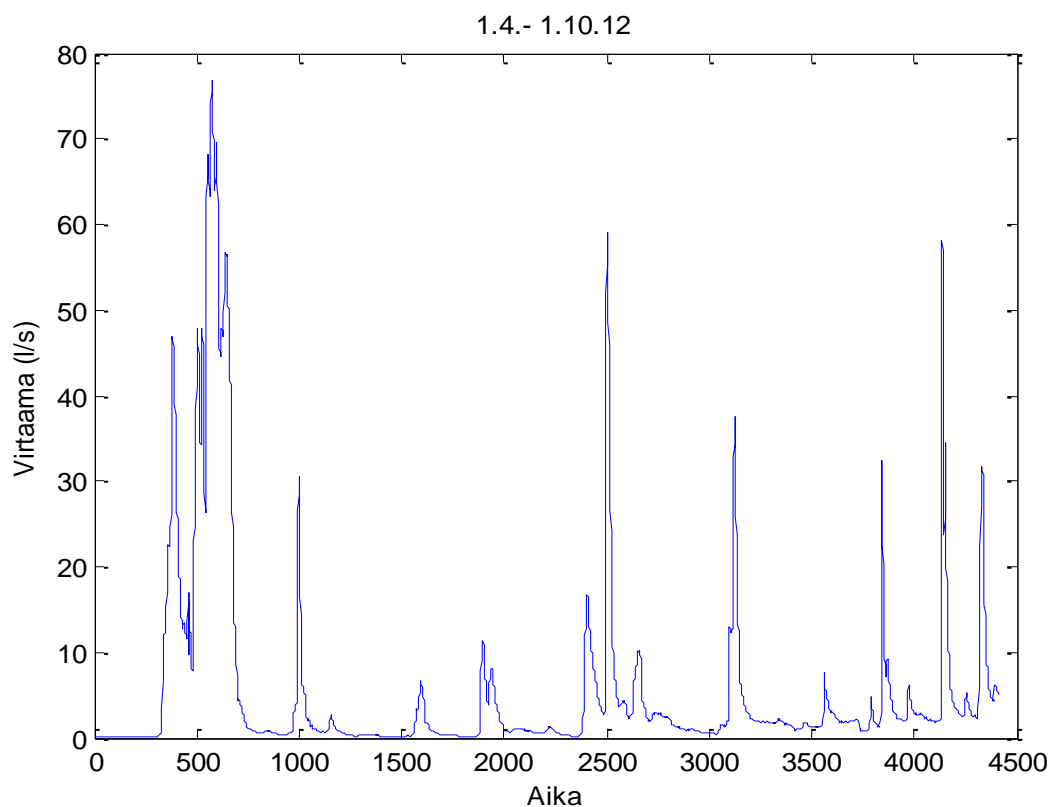
KUVIO 4. 1.4.-1.10.2011 virtaamakuvaaja

9.1.2 Raakadatatulokset vuodelta 2012

Seuraavasta taulukosta (TAULUKKO 3) nähdään vastaavat tunnusluvut vuoden 2012 tarkastelujaksolta. Kuvaajasta (KUVIO 5) nähdään vuoden 2012 tarkastelujakson virtaama.

TAULUKKO 3. Tunnusluvut ajalta 1.4.- 1.10.2012

	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Keskihajonta
Lämpötila (°C)	0,1	14	8,7	3,9
Paine (cmWC)	22,9	53	29,9	6
Korjattu paine (cmWC)	1,1	31,2	8,1	6
Virtaama (l/s)	0	76,8	5,7	12,1

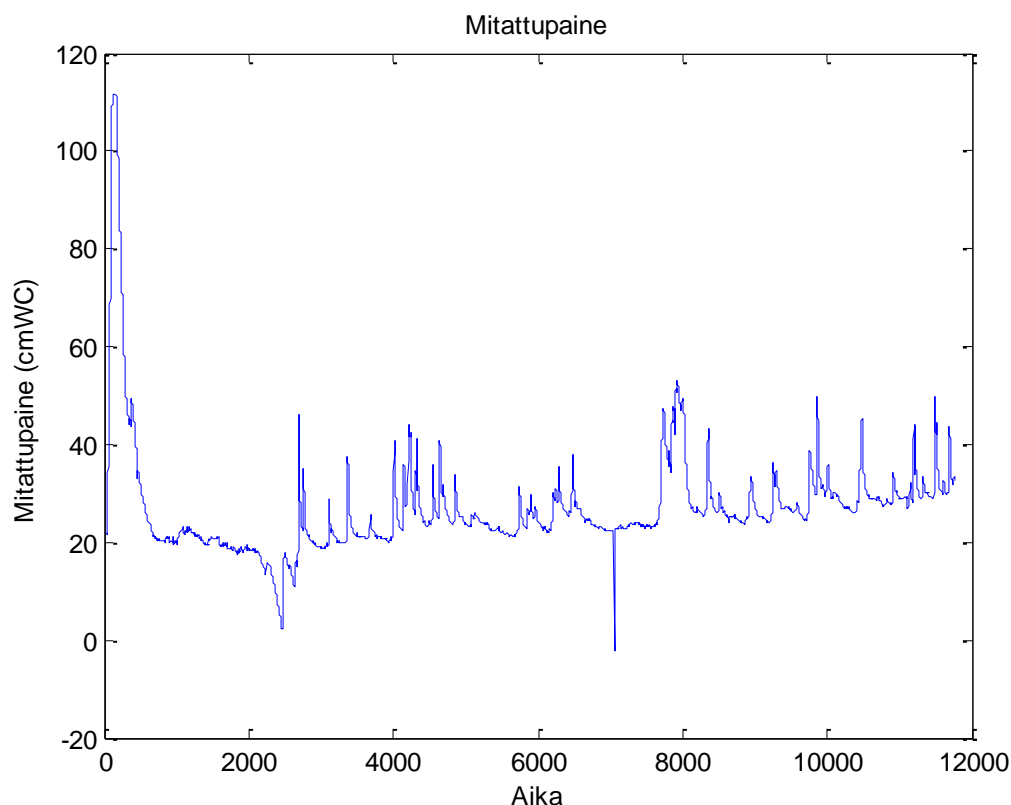


KUVIO 5. 1.4.–1.10.2012 virtaamakuvaaja

9.2 Raakadatan virhetarkastelu

Aikajaksokuvaajien perusteella pystyttiin arvioimaan mahdollisia mittausvirheitä. Edellä olevia virtaamakuvaajia tutkimalla huomattiin erittäin suuri virtaamapiikki, joka ajoittui vuoden 2011 huhtikuulle, mittausten alkuun. Kohonnut virtaama näkyy myös vertailtaessa vuosien 2011 (TAULUKKO 2) ja 2012 (TAULUKKO 3) maksimivirtaamia. Vuoden 2011 maksimivirtaama on epätodellisen suuri, kymmenkertainen vuoden 2012 maksimivirtaamaan nähden. Vuoden 2011 huhtikuun mittausvirhe johtuu todennäköisesti siitä, että kevään aikana ojan pintaan muodostui jääkerros. Huomattiin, että jääkerros padotti vettä ja nosti vedenpintaa, vaikka varsinaista virtaamaa ei vielä ollut. Näin painanturilla saatiin todella suuria lukemia, jotka eivät olleet todellisia. Tästä voidaan päätellä, että kenttäpäivien aikana tehdyillä havainnoilla on suuri merkitys datan luotettavuutta arvioitaessa.

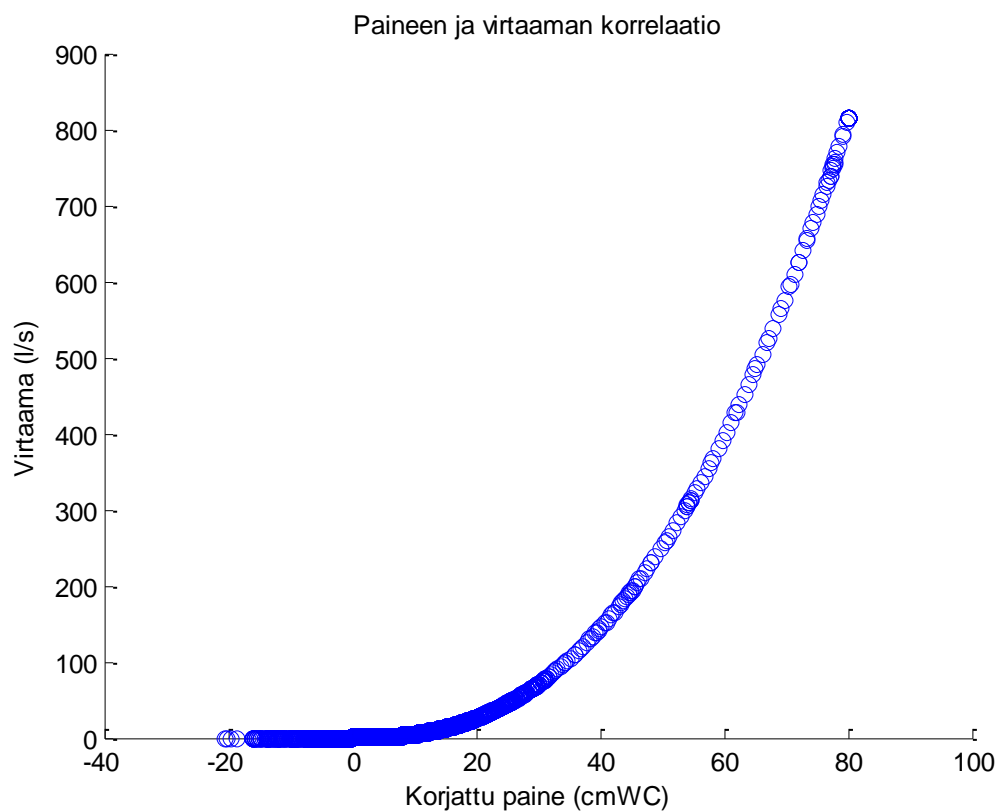
Lämpötilakuvaaja (KUVIO 2) noudattaa melko tarkasti Suomen ilmastolle tyypillistä veden lämpötilan vaihtelua. Kuvaajasta nähdään luonnollista kohinaa, mikä on todennäköisesti peräisin vuorokauden lämmönvaihtelusta. Kuvaajasta huomataan kuitenkin, että mittauskohina mittausjakson alussa on suurempaa, kuin lopussa. Lämpötilakuvaajasta (KUVIO 2) huomattiin myös toinen mittausvirhe. Kuvaajasta nähdään lyhytkestoinen laskevapiikki, joka poikkeaa kuvaajasta. Tutkimalla *mitatun paineen* -kuvaajaa (KUVIO 6), huomataan samanaikainen laskeva piikki.



KUVIO 6. Paine

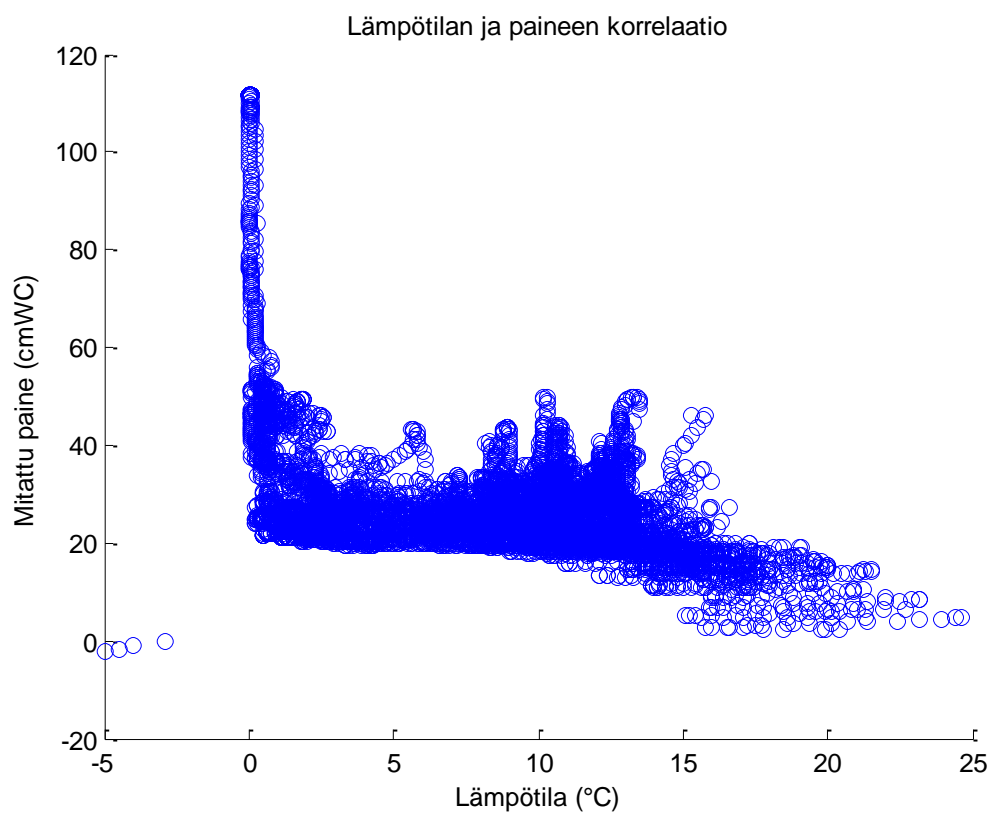
Tutkimalla mittausdataa tarkemmin huomattiin, että laskevat lämpötila- ja painepiikit ajoittuvat 19.1.2012. Tuona aikana paine saa negatiivisia arvoja, kun muun aikaa paine on noin 22 cmWC luokkaa. Voidaan olettaa, että kyseessä on mittausvirhe. Koska virhe tapahtuu sekä lämpötila-, että painetuloksissa, kyseessä on kentällä sattunut virhe, eikä virhe ole tapahtunut datan käsittelyvaiheessa. Mittausvirhe kestää neljän mittauksen ajan, eli neljä tuntia. Vaikka mittausvirhe tapahtuu ja kestää neljä tuntia, sillä ei ole merkittävää vaikutusta virtaaman tuloksiin. Virtaaman arvo tuona aikana on luokkaa 0,4 l/s, joten muutama virtaaman arvon puuttuminen ei merkittävästi vaikuta lopputulokseen. Mittauspöytäkirjoista selviää, että tuona aikana paineanturi nostettiin pois ojasta puhdistusta varten, jolloin se oli kosketuksissa ilman kanssa.

Raakadatan tulosten oikeellisuutta tarkasteltiin myös Matlab-ohjelmalla saatujen korrelaatiokuvaajien avulla. Korrelaatiokuvaajien avulla pystyttiin tunnistamaan poikkeavuuksia tuloksissa, silloin kun kahden muuttujan tulisi olla riippuvaisia keskenään. Esimerkiksi paineen perusteella määritetty virtaaman tulisi olla täysin riippuvainen paineesta, muutoin virtaaman laskennassa on tapahtunut virhe. Paineen ja virtaaman korrelaatio -kuvaajasta (KUVIO 7) nähdään, ettei ainakaan virtaaman laskennassa ole tapahtunut virhettä, sillä korrelaatiokuvaajasta ei ilmene poikkeavuuksia.



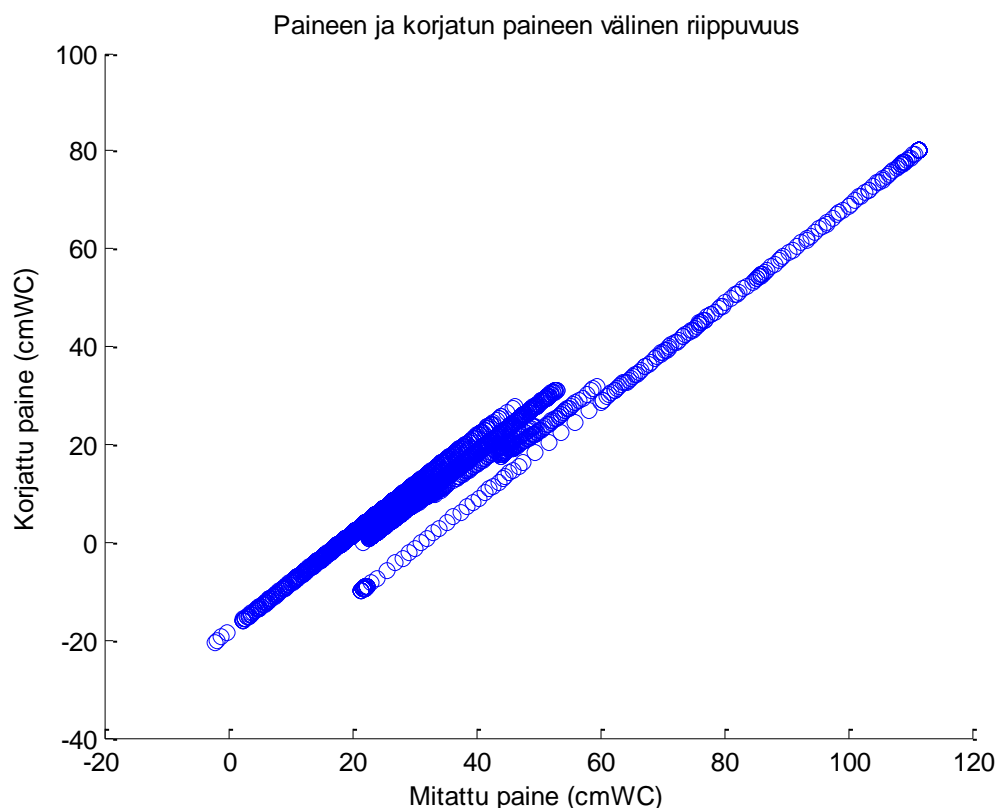
KUVIO 7. Paineen ja virtaaman korrelaatio

Lämpötilan- ja paineen korrelaatiokuvaajasta (KUVIO 8) puolestaan huomataan, että paine ei ole riippuvainen lämpötilasta.



KUVIO 8. Lämpötilan ja paineen korrelaatio

Kuvaajasta 9 nähdään mittauspisteestä 3 mitatun paineen ja niin sanotun korjatun paineen, eli virtaaman määrittämisessä käytetyn vedenkorkeuden välinen riippuvuus.



KUVIO 9. Paineen ja korjatunpaineen välinen riippuvuus vuosilta 2011–2012

9.3 Raakadatan tulkintaa

Vuoden 2012 kesä oli todella runsassateinen, ja se voidaan huomata myös vuoden 2012 virtaama -kuvaajasta (KUVIO 5), sillä kuvaajassa näkyy virtaamapiikkejä koko mittausjakson ajalta. Kesä 2011 oli kuivempi, mikä näkyy myös vuoden 2011 virtaama -kuvaajasta (KUVIO 4).

Paineen ja korjatunpaineen korrelaatiokuvaajasta huomataan, että paineet osittain korreloivat keskenään. Eri vuosille tehtiin eri kalibrointeja, joten kuvaajassa näkyy eri kalibroitijaksot. Mikäli muistakin mittauspisteistä saataisiin samankaltaisia kuvaajia, voitaisiin olettaa, että korjaukset/kalibroinnit noudattavat tiettyä kaavaa. Näin ollen datankäsittely mahdollisesti voitaisiin jatkossa automatisoida. Veden pinnankorkeuden määrittämisessä paineanturin avulla on kuitenkin useita tapoja. FOKUS II -hankkeen tutkimuksessa korkeuden määrittämisessä käytettiin manuaalimittauksilla saatujen veden pinnankorkeuksien keskiarvoa. Tässä opinnäytetyössä ei perehdytty sen tarkemmin siihen, mikä tapa paineen muuttamisessa vedenkorkeudeksi on paras. Kuitenkin voidaan sanoa, että virtaaman laskennassa käytetty arvo on sitä tarkempi, mitä enemmän manuaalimittauksia on tehty.

10 TULOKSET

10.1 Puuttuvat mittausarvot ja laboratoriotulokset

Päivät, joilta puuttuu virtaama- ja laboratoriotulokset näkyvät seuraavassa taulukossa (TAULUKKO 4).

TAULUKKO 4. Puuttuvat tulokset

	Mittauspiste 1	Mittauspiste 3	Mittauspiste 4	Mittauspiste 5
Virtaamatulokset	1.1.11–31.3.11	1.1.11–31.3.11	1.1.11–31.3.11	1.1.11–31.3.11
	*	*	*	*
	28.5.11– 12.10.11 **	20.1.12–18.3.12	20.1.12–8.3.12	22.10.11– 13.11.11 **
	14.1.12–15.3.12	14.12.12– 31.12.12	14.12.12– 31.12.12	14.1.12–15.3.12
	6.12.12– 31.12.12			14.12.12– 31.12.12
Laboratoriotulokset	1.1.11–31.3.11	1.1.11–31.3.11	1.1.11–31.3.11	1.1.11–31.3.11
	*	*	*	*
	14.1.12–15.3.12	20.1.12–18.3.12	20.1.12–18.3.12	14.1.12–15.3.12
	6.12.12– 31.12.12	14.12.12– 31.12.12	14.12.12– 31.12.12	14.12.12– 31.12.12

* oletetaan, että virtaamaa oli nolla

** tuloksista on tehty arvio

Seuraavaan taulukkoon (TAULUKKO 5) on vielä koottu yhteenveto, kuinka monelta päivältä puuttuu tulos.

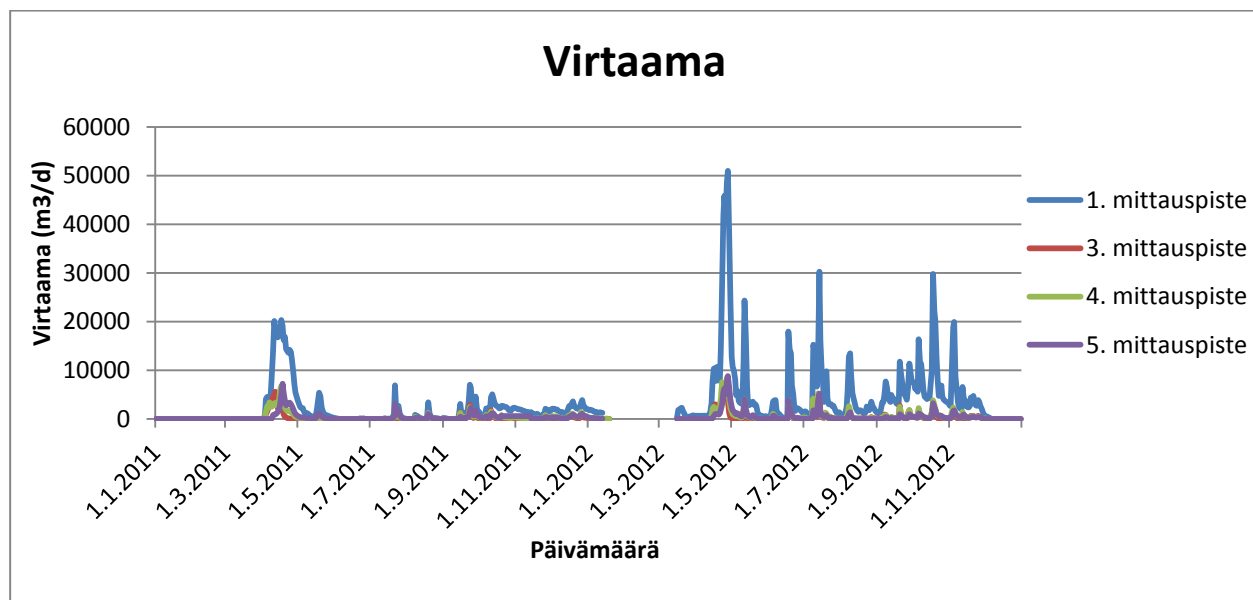
TAULUKKO 5. Yhteenveto puuttuvista tuloksista

	Mittauspiste 1	Mittauspiste 3	Mittauspiste 4	Mittauspiste 5
2011 virtaamatulos (päivää)	90 (138 **)	90	90	90 (23 **)
2012 virtaamatulos (päivää)	88	77	77	80
2011 laboratoriotulos (päivää)	90	90	90	90
2012 laboratoriotulos (päivää)	88	77	77	80

** tuloksista on tehty arvio

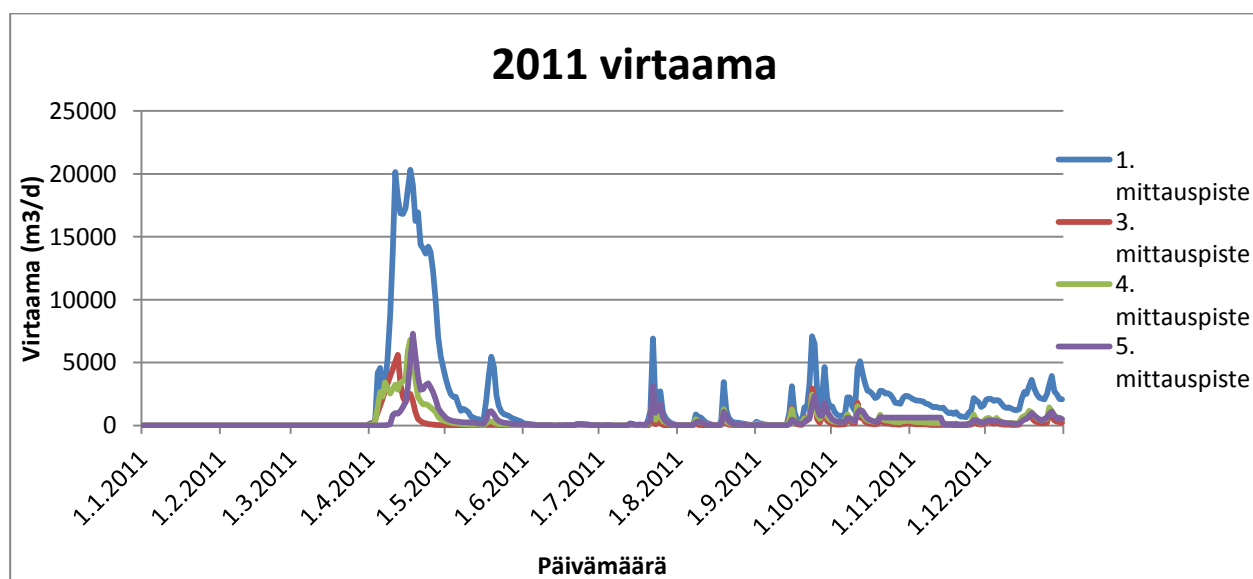
10.2 Virtaamatulokset

Mittauspisteiden päivittäinen keskivirtaama on nähtävissä kuviossa 10. Virtaamamittauksissa oli puuttuvia arvoja ja siksi mittauspisteen 1 ajalta 28.5.–12.10.2011 ja mittauspisteen 5 ajalta 22.10.–13.11.2011 puuttuvista virtaamatuloksista on käytetty virtaaman arviota.



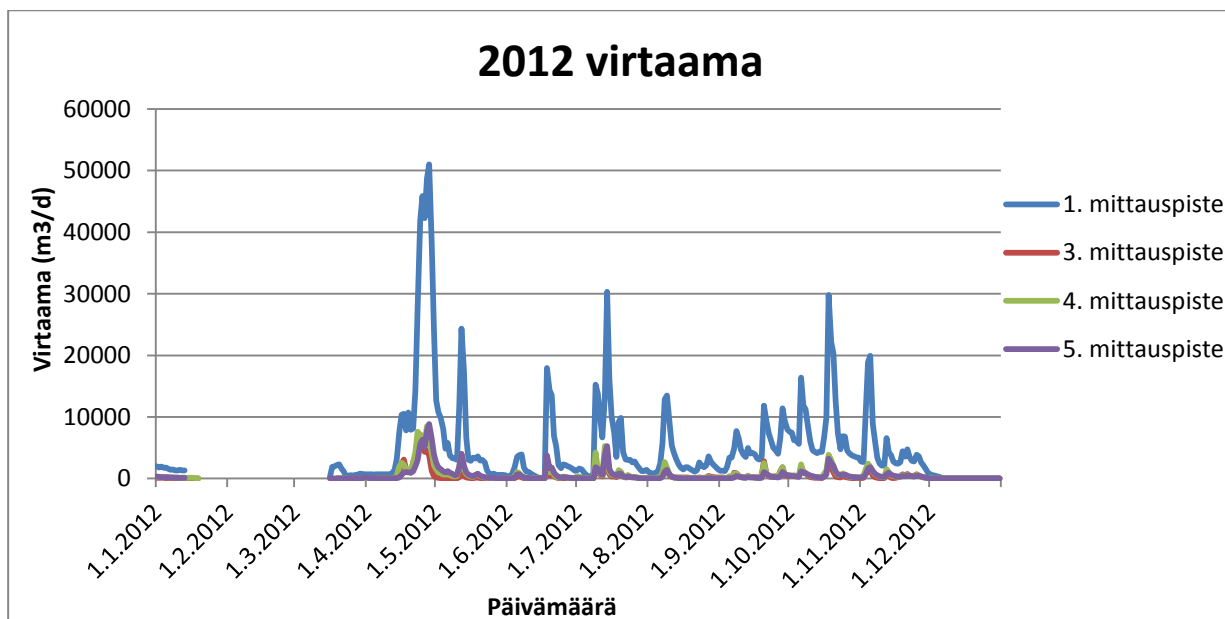
KUVIO 10. Virtaama

Kuvaajasta 11 on nähtävissä tarkemmin vuoden 2011 päivittäinen keskivirtaama. Myös tässä on käytetty mittauspisteen 1 ja mittauspisteen 5 virtaama-arvioita.



KUVIO 11. 2011 virtaama

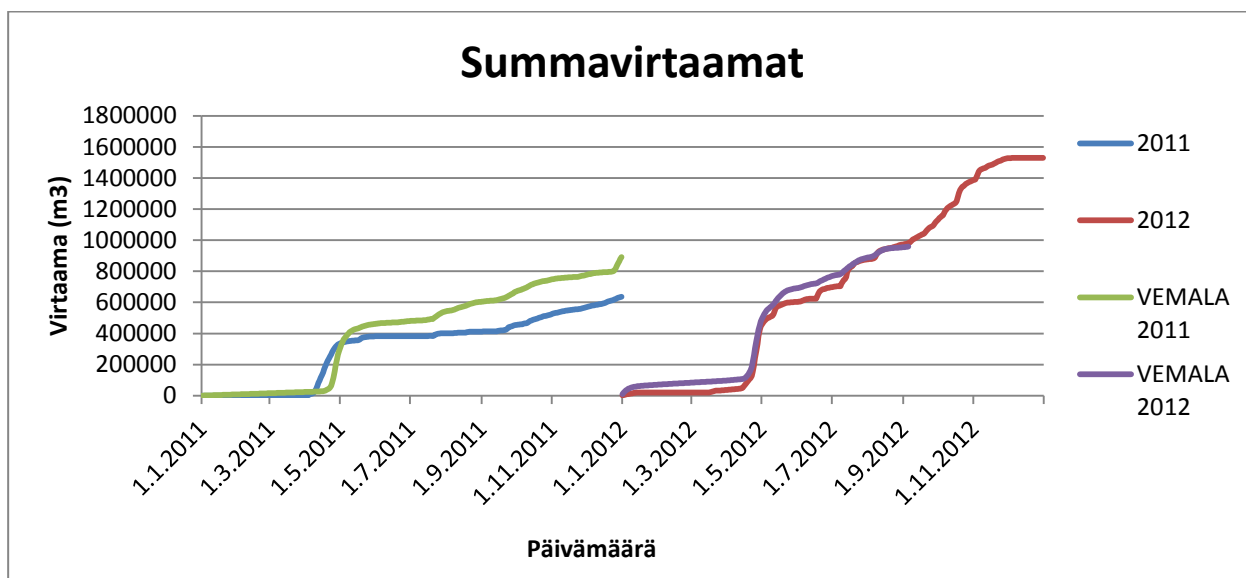
Kuvaajasta 12 on nähtävissä tarkemmin vuoden 2012 päivittäinen keskivirtaama.



KUVIO 12. 2012 virtaama

10.2.1 VEMALA-mallin ja mittauspisteen 1 summavirtaamat

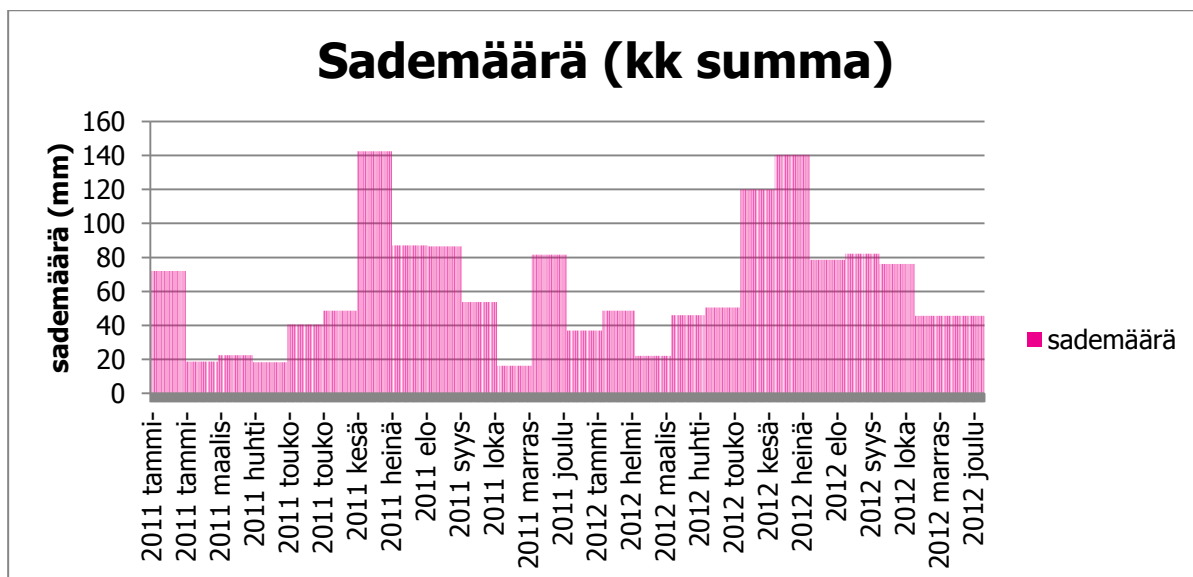
Kuvaajasta 13 on nähtävissä mittauspisteen 1, eli koko tutkimusosavalmu-alueen summavirtaamat, sekä VEMALA-mallilla saadut simuloidut summavirtaamat vuosille 2011 ja 2012. VEMALA käyrät on saatu 6.8.2012 poimitun aineiston pohjalta. Näin ollen vuoden 2012 käyrä loppuu päivään 5.9.2012, kun taas FOKUS II -hankkeen virtaaman jatkuvatoimisella seurannalla saatiin summavirtaama koko vuodelle 2012.



KUVIO 13. Summavirtaamat

10.2.2 Sadanta

Kuvaajasta 14 on nähtävissä alueen kuukausittainen sademäärä. Sadanta on määritetty Ilmatieteenlaitoksen Vieremän ja Maaningan sääasemien päivittäisen sadannan keskiarvona.



KUVIO 14. Kuukausittainen sademäärä

Taulukkoon 6 on koottu sadetietoja Vieremän ja Maaningan aineistojen keskiarvotiedostosta.

TAULUKKO 6. Alueen sadetiedot

	Minimi (mm)	Maksimi (mm)	Summa (mm)	Keskihajonta (mm)	Keskiarvo (mm)	Rankkasateita (päivää)
2011	-0,5	39	689	4,6	0,2	5
2012	-1	30	793	4,3	0,6	5
Mittausjakso	-1	39	1481	4,4	0,4	10

Ilmatieteenlaitos on määritellyt rankkasateeksi sen, jos vettä tulee 24 tunnin aikana enemmän tai yhtä paljon kuin 20 mm. Rankkasateiden päivämäärät löytyvät liitteestä 2.

10.3 Tunnusluvut

Taulukoista 7–10 on nähtävissä, erikseen jokaiselta mittauspisteeltä, laboratoriotulosten tunnusluvut, eli minimi, maksimi, keskiarvo ja keskihajonta.

TAULUKKO 7. Mittauspiste 1

	2011 (26 näytettä)				2012 (30 näytettä)			
	liukP mg/l	totP mg/l	totN mg/l	kiintoaine mg/l	liukP mg/l	totP mg/l	totN mg/l	kiintoaine mg/l
Minimi	0,0	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	1,3	0
Maksimi	0,2	0,5	15,4	107,0	0,2	0,6	9,5	279
Keskiarvo	0,1	0,2	2,5	12,1	0,1	0,2	2,3	17,0
Keskihajonta	0,0	0,1	2,7	16,5	0,0	0,1	1,3	42,0

TAULUKKO 8. Mittauspiste 3

	2011 (26 näytettä)				2012 (26 näytettä)			
	liukP mg/l	totP mg/l	totN mg/l	kiintoaine mg/l	liukP mg/l	totP mg/l	totN mg/l	kiintoaine mg/l
Minimi	0,0	0,1	3,1	0,0	0,0	0,1	1,7	0,0
Maksimi	0,2	1,6	19,8	2015,0	0,2	1,0	13,0	140,0
Keskiarvo	0,1	0,2	5,2	32,7	0,1	0,3	5,1	8,1
Keskihajonta	0,0	0,2	2,6	184,5	0,1	0,3	1,7	19,8

TAULUKKO 9. Mittauspiste 4

	2011 (21 näytettä)				2012 (25 näytettä)			
	liukP mg/l	totP mg/l	totN mg/l	kiintoaine mg/l	liukP mg/l	totP mg/l	totN mg/l	kiintoaine mg/l
Minimi	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0
Maksimi	0,1	0,3	34,9	80,0	0,2	0,5	7,3	250
Keskiarvo	0,0	0,1	3,8	18,0	0,1	0,2	1,9	30,7
Keskihajonta	0,0	0,1	5,4	24,7	0,0	0,1	0,9	63,5

TAULUKKO 10. Mittauspiste 5

	2011 (24 näytettä)				2012 (24 näytettä)			
	liukP mg/l	totP mg/l	totN mg/l	kiintoaine mg/l	liukP mg/l	totP mg/l	totN mg/l	kiintoaine mg/l
Minimi	0,0	0,0	0,7	0,0	0,1	0,1	0,8	0,0
Maksimi	1,2	1,8	3,1	17,0	1,0	1,8	8,7	11,5
Keskiarvo	0,4	0,7	1,2	4,6	0,3	0,5	1,5	1,3
Keskihajonta	0,3	0,5	0,4	5,9	0,3	0,5	1,1	2,4

10.4 Ominaiskuormitus

Taulukoihin 11–14 on laskettu koko tutkimusalueen ominaiskuormitus, sekä erikseen jokaisen kolmen seuranta-alueen ominaiskuormitus kaavalla (6). Taulukoihin on laskettu ominaiskuormitukset erikseen vuosille 2011 ja 2012, sekä koko opinnäytetyön tarkastelujaksolle. Mittauspisteen 1 ajalta 28.5.–12.10.2011 ja mittauspisteen 5 ajalta 22.10.–13.11.2011 on laskennassa käytetty virtaamasta tehtyä arviota.

TAULUKKO 11. Koko valuma-alueen ominaiskuormitus

Ominaiskuormitus (kg/ha/a) 1. mittauspiste				
	liukP	totP	totN	kiintoaine
2011 (n=26)	0,1	0,3	9,0	30
2012 (n=30)	0,4	0,9	14,6	170
Mittausjakso	0,2	0,6	11,8	100

TAULUKKO 12. Peltovaltaisen seuranta-alueen ominaiskuormitus

Ominaiskuormitus (kg/ha/a) 3. mittauspiste				
	liukP	totP	totN	kiintoaine
2011 (n=26)	0,2	0,9	22,2	680
2012 (n=26)	0,4	0,9	27,2	120
Mittausjakso	0,3	0,9	24,7	400

TAULUKKO 13. Pelto- ja metsävaltaisen seuranta-alueen ominaiskuormitus

Ominaiskuormitus (kg/ha/a) 4. mittauspiste				
	liukP	totP	totN	kiintoaine
2011 (n=21)	0,1	0,3	20,7	70
2012 (n=25)	0,2	0,5	8,3	200
Mittausjakso	0,2	0,4	14,5	140

TAULUKKO 14. Metsävaltaisen seuranta-alueen ominaiskuormitus

Ominaiskuormitus (kg/ha/a) 5. mittauspiste				
	liukP	totP	totN	kiintoaine
2011 (n=24)	0,3	0,4	1,9	< 10
2012 (n=24)	0,3	0,4	2,7	10
Mittausjakso	0,3	0,4	2,3	10

11 OMINAISKUORMITUKSEN LASKENNAN VIRHETARKASTELU

Virhetarkastelussa otettiin huomioon laitteiden mittausvirhe, laboratoriomääritysten epävarmuus, sekä inhimilliset virheet ja ympäristön aiheuttamat virheet. Ominaiskuormitustuloksille määritettiin epävarmuus mittalaitteiden mittausepävarmuuden ja laboratoriomääritysten epävarmuuden perusteella. Tulosten epätarkkuuden määrittäminen tapahtui yleisillä laskentaperiaatteilla. Epätarkkuuden määrittämisessä ei otettu huomioon esimerkiksi inhimillistä tai ympäristön aiheuttamaa virhettä, vaan ainoastaan laite- ja laboratoriokohtaiset mittausepävarmuudet.

11.1 Mittausten virhetarkastelu

Mittauksiin saattoi tulla virhettä inhimillisistä syistä, esimerkiksi manuaalisia mittauksia suoritettaessa. Inhimillisen virheen suuruutta on mahdotonta määrittää. Tämän vuoksi inhimillistä virhettä ei otettu huomioon lopullisessa tulosten epävarmuuden määrittämisessä. Mittaustuloksiin tuli jonkin verran myös ympäristön aiheuttamaa virhettä, esimerkiksi kasvien kertyessä V-aukkoon. Kuten inhimillisen virheen, myös ympäristön aiheuttaman virheen suuruutta ei voida määrittää. Tuloksista ei ilmennyt systemaattista virhettä, joten oletettiin, että mittausten ulkoinen tarkkuus oli hyvä. Näytteenotto tapahtui keräävällä näytteenottimella, joka ottaa näytteen 5 ml tarkkuudella. Näytteen suuruudella ei kuitenkaan ollut vaikutusta määritettäviin pitoisuuksiin, joten oletettiin, että näytteenotimesta ei koitunut virhettä tuloksiin.

11.1.1 V-pato paineanturiyhdistelmän virhe

V-pato paineanturiyhdistelmällä määritettyssä virtaamassa syntyi virhettä silloin, kun vesi tulvi mitatapatojen yli. Tulvimista tapahtui pääsääntöisesti kevät sulannan aikana, mutta satunnaisesti myös rankkasateiden aikaan. Tulviminen pystyttiin havaitsemaan kenttäpäivien aikana, mutta muuten tulviminen ei ilmene suoraan mittaustuloksista.



KUVA 12. V-padon tulvinta. MTT. Valokuva Mari Rätty 2012

Säätietoja tutkimalla pystyttiin tekemään karkea arvio päivistä, jolloin tulvimista tapahtui. Kenttäpäivien yhteydessä tehdyt havainnot korostuivat myös silloin, kun uomassa tapahtui muutoksia, esimerkiksi kiintoainesta kertyi patoon. Liitteeseen 1 on koottu havaintoja kentältä, esimerkiksi päivät, jolloin kerääntynyttä kasviainesta poistettiin padoista. Uoman muutoksilla saattaa olla vaikutusta muun muassa todellista suurempiin virtaamatuloksiin. Muita yleisiä V-padon toimintavirheitä on mainittu kappaleessa 7.1.1. Oletettiin, että V-pato oli asennettu oikein, eikä sitä kautta syntynyt mittausvirhettä. V-pato oli mitoitettu virtaamalle $4,3\text{--}1500\text{ m}^3/\text{d}$. Tutkimukseen ei olisi sopinut suuremmalle virtaamalle mitoitettua mittapatoa, sillä silloin ei pienempiä virtaamia olisi saatu mitattua. Käytössä olleen paineanturin mittaasepävarmuus laitevalmistajan mukaan on 0,25 % ja dataloggerin epävarmuus on 0,01 %. Näin ollen mittauspisteiden 3, 4, ja 5 virtaamatulosten epävarmuudeksi saatiin 0,26 %.

11.1.2 Kaikumittaus

Mittauspisteessä 1 käytettiin Starflown ultraääneen perustuvaa virtaaman mittausta (KUVA 13) (katso kappale 7.2). Mittaustarkuuteen vaikutti muun muassa se, kuinka puhdasta vesi oli. Laitetta puhdistettiin säännöllisesti, jottei likaantumisella olisi vaikutusta tulokseen. Lisäksi mittausten luotettavuutta tarkailtiin FlowTracker-käsimittarilla. Erityisesti vuonna 2012 tehtiin useita mittauksia käsimitarilla eri virtaamatilanteissa. Mittauksilla selvisi, että FlowTracker mittaukset vastasivat varsin hyvin kaiulla saatuihin tuloksiin. Laitevalmistajan antama mittaasepävarmuus virtausnopeudelle oli 2 % ja veden syvyydelle 0,25 %. Uoman poikkipinta-alan laskenta perustui syvyyden mittaukseen ja itse määritettyyn uoman muotoon. Näin ollen poikkipinta-alan tarkkaa resoluutiota ei voitu sanoa. Laite laski virtaaman määritetyn poikkipinta-alan ja mitatun virtausnopeuden perusteella. Näin ollen virtaamamittauksen mittaasepävarmuutena mittauspisteestä 1 käytettiin 2,25 %.



KUVA 13. Kaikuun perustuva virtaaman mittaus. MTT.

Valokuva Mari Rätty 2011

11.2 Laboratoriomäärittelysten virhetarkastelu

Taulukosta 15 nähdään vedenlaatuanalyysien määrittelysraja- ja mittaasepävarmuussuosituksia kirkkaille luonnon vesille laboratoriomittauksissa. Uskottiin, että myös tutkimuksen laboratorioanalyysien

mittausepävarmuus oli samaa luokkaa, kuin suositukset. Näin ollen ominaiskuormitustulosten virheen määrittämisessä käytettiin taulukon *mittausepävarmuus optimipitoisuusalueella* -arvoja.

TAULUKKO 15. Määrittämisraja- ja mittausepävarmuus (Kukkonen 2012, liite 3.)

Analyysi	Yksikkö	Määrittämisraja ja mittausepävarmuus	Mittausepävarmuus optimipitoisuusalueella
Fosfori, kokonais-	µg/l	3-5 ± 1,5	>10 ± 15 %
Fosfori, fosfaatti-	µg/l	2-5 ± 1,5	>10 ± 15 %
Kiintoaine, suodatin GF/C	mg/l	2 ± 0,5	>3 ± 20 %
Kiintoaine, suodatin 0,45 µm	mg/l	2 ± 0,5	>3 ± 20 %
Kiintoaine, suodatin 0,4 µm	mg/l	2 ± 0,5	>3 ± 20 %
Typpi, kokonais-	µg/l	50 ± 10	>70 ± 15 %

Seuraavassa vielä muutamia tekijöitä, jotka voi aiheuttaa virhettä analyysituloksiin standardien mukaan tehdyissä laboratoriomäärittämisissä.

- Rikkipitoisuudella kestävyys kokonaistyyppinäytettä voidaan säilyttää 8 vrk. Pitoisuuden määrittämisessä tarkkuus riippuu menetelmästä, jolla pitoisuus mitataan näytteen hapetuksen jälkeen. Todennäköisin mittausepävarmuuden aiheuttaja on näytteeseen liennut tai suspensioitunut orgaaninen aine. (SFS-EN ISO 11905-1 1998.)
- Kiintoainepitoisuus on riippuvainen muun muassa säilytysajasta, kuljetustavasta ja pH:sta, jotka saattavat aiheuttaa virhettä tuloksiin. Suodatinmerkillä on myös vaikutusta virheen suuruuteen. (SFS-EN 872 1996.)
- Mikäli näyte sisältää liian suuria määriä silikaattia, vetysulfidia, fluoridia, siirtymämetalleja, saliniteettia tai nitriittiä saattaa niillä olla vaikutusta fosforinmäärittämisessä väriin. Myös arsenaatti saattaa aiheuttaa häiriötä fosforipitoisuuden määrittämiseen. (SFS-EN 1189 1996.)

11.3 Ominaiskuormitustulosten epävarmuus

Mittauspisteessä 1 oli käytössä ultraääneen perustuva virtaaman mittaus. Virtaaman mittausepävarmuutena käytettiin 2,25 %, ja laboratoriomäärittäysten epävarmuutena taulukon 16 mukaisia suosituksia. Taulukosta 16 nähdään ominaiskuormitustulokset, ja tuloksille lasketut epävarmuudet.

TAULUKKO 16. Mittauspisteen 1 tulosten epävarmuus

Ominaiskuormitus ja epävarmuus (kg/ha/a) 1.mittauspiste				
	liukP	totP	totN	kiintoaine
2011 (n=26)	0,1 ± 0,0	0,3 ± 0,0	9,0 ± 1,6	30 ± 0
2012 (n=30)	0,4 ± 0,1	0,9 ± 0,2	14,6 ± 2,5	170 ± 40
Mittausjakso	0,2 ± 0,0	0,6 ± 0,1	11,8 ± 2,0	100 ± 20

Mittauspisteissä 3, 4 ja 5 virtaama määritettiin V-pato paineanturi yhdistelmällä. Paineanturin ja dataloggerin yhteinen mittausvirhe määritettiin kappaleessa 12.1.1 ja siitä saatiin 0,26 %. Otettaessa huomioon vielä laboratoriomäärittysten epävarmuus saatiin seuraavat tulokset (TAULUKKO 17, TAULUKKO 18,

TAULUKKO 19).

TAULUKKO 17. Mittauspisteen 3 tulosten epävarmuus

Ominaiskuormitus ja epävarmuus (kg/ha/a) 3. mittauspiste				
	liukP	totP	totN	kiintoaine
2011 (n=26)	0,2 ± 0,0	0,9 ± 0,1	22,2 ± 3,4	680 ± 140
2012 (n=26)	0,4 ± 0,1	0,9 ± 0,1	27,2 ± 4,1	120 ± 20
Mittausjakso	0,3 ± 0,0	0,9 ± 0,1	24,7 ± 3,8	400 ± 80

TAULUKKO 18. Mittauspisteen 4 tulosten epävarmuus

Ominaiskuormitus ja epävarmuus (kg/ha/a) 4. mittauspiste				
	liukP	totP	totN	kiintoaine
2011 (n=21)	0,1 ± 0,0	0,3 ± 0,0	20,7 ± 3,2	70 ± 10
2012 (n=25)	0,2 ± 0,0	0,5 ± 0,1	8,3 ± 1,3	200 ± 40
Mittausjakso	0,2 ± 0,0	0,4 ± 0,1	14,5 ± 2,2	140 ± 30

TAULUKKO 19. Mittauspisteen 5 tulosten epävarmuus

Ominaiskuormitus ja epävarmuus (kg/ha/a) 5. mittauspiste				
	liukP	totP	totN	kiintoaine
2011 (n=24)	0,3 ± 0,0	0,4 ± 0,1	1,9 ± 0,3	< 10 ± 0
2012 (n=24)	0,3 ± 0,0	0,4 ± 0,1	2,7 ± 0,4	10 ± 0
Mittausjakso	0,3 ± 0,0	0,4 ± 0,1	2,3 ± 0,4	10 ± 0

12 TULOSTEN TULKINTA

12.1 Virtaama

Summavirtaamia verrattaessa VEMALA-mallilla saatuihin käyriin (KUVIO 13) huomattiin, että vuoden 2012 tutkimuksella saatu summavirtaama on melko samanlainen VEMALA-mallilla saadun summavirtaaman kanssa. Vuoden 2011 aikana virtaamamittari oli korjattavana, joten virtaamatuloksista käytettiin arviota noin viiden kuukauden ajalta. Kuvaajista huomattiin, että vuoden 2011 VEMALA-mallilla saatu summavirtaama on lopulta noin 200 000 m³ enemmän, kuin tutkimuksella saatu summavirtaama. Tästä voidaan päätellä, että virtaama on todennäköisesti ollut todellisuudessa hiukan arvioitua suurempaa. Päätelmää tukee myös sademääräkuvaaja (KUVIO 14), josta huomataan, että myös vuoden 2011 aikana satoi vettä, vaikkei aivan yhtä paljon kuin vuonna 2012. Lopulta summavirtaamista ilmeni hyvin, kuinka paljon enemmän alueella virtasi vettä vuoden 2012 aikana verrattuna vuoteen 2011. Virtaamakuvaajista näkyy myös virtaamahuiput. Vuoden 2012 virtaamakuvaajaa (KUVIO 12) verrattaessa vuoden 2011 virtaamaan (KUVIO 11) huomataan myös, että vuosi 2012 oli paljon runsassateisempi, sillä myös kesän aikana kuvaajassa näkyy virtaamapiikkejä.

12.2 Ominaiskuormitus

Vuonna 2010 ojat jäätyivät niin, ettei niissä juuri ollut vettä. Tämän vuoksi, kun mittaukset vuoden 2011 keväällä aloitettiin, voitiin arvioida, ettei talven aikana esiintynyt virtaamia (TAULUKKO 4). Vuosien 2011 ja 2012 talvella tilanne oli kuitenkin toinen, sillä tuolloin ojat jäätyivät niin, että siellä oli vettä. Kun ojia kaivettiin talvella lumen alta esiin, havaittiin virtaamia myös talviaikaan (KUVA 14). Mittalaitteistoa ei pidetty talven yli paikoillaan, sillä laitteistoa haluttiin huoltaa ja testata, sekä estää vahingoittumasta ojien jäätyessä. Lisäksi esimerkiksi jääkerros olisi aiheuttanut virhettä tuloksiin. Tästä voidaan päätellä, että 2011–2012 talvella esiintyi virtaamia, joista ei saatu tuloksia. Näin ollen vuoden 2012 ominaiskuormitukset ovat todennäköisesti hiukan laskettua suurempia, mutta koska virtaamat olivat pieniä ja maa jäässä, oletetaan, että kuormitusta ei talvella kuitenkaan merkittävästi syntynyt.



KUVA 14. Talvinen oja. MTT. Valokuva Mari Rätty

Kappaleessa 12.2 todettiin, että virtaama mittauspisteessä 1 oli todennäköisesti vuonna 2011 tehtyä virtaama-arviota suurempaa. Tästä syystä myös kuormitus on todennäköisesti ollut hiukan laskettua suurempaa. Sen sijaan vuoden 2012 virtaamatuloksia voidaan pitää melko luotettavina, sillä kaikukmittausten lisäksi tehtiin useita yksittäisiä FlowTracker mittauksia, ja tulokset kävivät hyvin yhteen. Näin ollen myös vuoden 2012 ominaiskuormitustulokset on todennäköisesti luotettavia. Jatkotoimenpiteenä voidaan suositella mittauspisteen 1 virtaaman uudelleen arviointia, ja sen pohjalta ominaiskuormituksen uudelleen laskemista.

Voisi olettaa, että mittauspisteen 4 tulokset olisivat mittauspisteiden 3 ja 5 keskiarvoja, sillä mittauspisteen 4 seuranta-alue on puoliksi peltoaluetta ja puoliksi metsäaluetta. Näin ei kuitenkaan ole fosforin kohdalla. Tiedettiin, että mittauspisteeseen 5 vaikuttaa pistekuormituslähde, josta syntyy fosforia. Näin ollen mittauspisteen 5 kuormitus on fosforin osalta suurempaa, kuin mitä se tavallisella metsätalousalueella olisi. Fosforikuormitus oli pienin mittauspisteessä 4. Ilman pistekuormituslähdettä mittauspisteen 5 fosforikuormitus on todennäköisesti siis pienempi, kuin mittauspisteessä 4. Typpi ja kiintoainekuormitukset olivat suurimpia mittauspisteessä 3 ja pienimpiä mittauspisteessä 5, mikä on selitettävissä sillä, että metsäalueella on enemmän kasvillisuutta sitomassa ravinteita ja estämässä eroosiota. Vuoden 2013 aikana selvitetään, kuinka paljon metsävaltaisen seuranta-alueen pistekuormitus on. Sen jälkeen pystytään vähentämään pistekuormitus tuloksista, ja saadaan luotettavampia tuloksia. Työssä oletettiin, että metsävaltaisen seuranta-alueen ominaiskuormitus on suurinpiirtein yhtä suurta, kuin HAME-hankkeessa saatu ominaiskuormitus. HAME-hankkeessa saatiin metsävaltaisen alueen taustahuuhtoumaksi seuraavat tulokset (TAULUKKO 20).

TAULUKKO 20. HAME-hankkeen taustahuuhtoumatulokset (Finer ym. 2010, 7)

	Taustahuuhtouma (kg/ha/a)	Vaihteluväli (kg/ha/a)
Kokonaisfosfori	0,049	0,017 - 0,146
Kokonaistyyppi	1,3	0,29 - 2,3
Kiintoaine	5,1	0,92 - 47,5

Taulukosta 21 puolestaan nähdään hankkeessa määritetyt kuormitukset (kg/ha/10 a) kivennäismaille (< 30 % turvetta) erilaisten toimenpiteiden jälkeen. Tulokset ovat 10 vuoden yhteenlaskettuja ominaiskuormituksia (kg/ha/a). (Finer ym. 2010.)

TAULUKKO 21. HAME-hankkeen kuormitustulokset erilaisille toimenpiteille (Finer ym. 2010, 15)

Kokonaisfosfori (kg/ha/10 a)		Kokonaistyyppi (kg/ha/10 a)		Kiintoaine (kg/ha/10 a)
Metsän uudistaminen	Lannoitus	Metsän uudistaminen	Lannoitus	Kunnostusojitus
0,251	0	5,027	15	749

Tulosten tulkinta helpottuu, kun saadaan alueen maanomistajilta maankäyttötiedot. Silloin saadaan muun muassa tietoon, kuinka paljon alueen peltoja on lannoitettu, ja mitä lannoitetta on käytetty. Lisäksi tiedetään, onko metsäalueella tehty metsän uudistamista, lannoitusta tai kunnostusojitusta, jolloin voidaan verrata tuloksia HAME-hankkeen tuloksiin. Lisäksi kenttäpöytäkirjat on hyvä tutkia, jotta voidaan paremmin tulkita tuloksia. Esimerkiksi vuoden 2012 lokakuun alussa tehtiin kosteikon ja kosteikosta lähtevän ojan kunnostustyötä. Tuolloin poistettiin kaivinkoneella kosteikon sedimenttejä ja avattiin lähtevää uomaa kiintoaineesta. Nuo kunnostustyöt näkyvätkin mittauspisteen 1 datassa hetkellisesti kohonneina kiintoainetuloksina.

13 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Kirmanjärven tutkimusosavaluma-alueen, sekä eri maankäytöllisten seuranta-alueiden ominaiskuormitukset kokonaisfosforille, liukoiselle fosforille, kokonaistypelle, sekä kiintoainekselle. Lisäksi työssä pohdittiin syitä saatuihin tuloksiin ja tehtiin paineanturin mittaamalle lukemalle luotettavuuden tarkastelu. Ominaiskuormitusten selvittäminen on tärkeää, sillä maatalouden kuormituksesta Suomen sisämaassa ei ole vielä riittävästi tietoa. Ominaiskuormitus selvitettiin jatkuvatoimisella seurannalla, jotta saatiin tarkkaa kuormitustietoa erityisesti kevätsulanan ajalta, jolloin syntyvä kuormitus on suurinta. Ominaiskuormituksen selvittämisestä on apua kuormituksen pienentämisen suunnittelussa, ja ympäristöystävällisemmän maatalouden kehittämisessä.

MTT Maaningalta saatiin mittaus- ja analyysitulokset, joihin oli koottu jokaisen mittauspisteen jatkuvatoimisesti mitattu keskimääräinen vuorokausivirtaama ja vesinäytteistä määritetyt liukoinen fosfori, kokonaisfosfori, kokonaistyyppi ja kiintoainepitoisuudet. Lisäksi saatiin paineanturin mittausdata, jolle tehtiin raakadatan tarkastelu. Työ aloitettiin datan käsittelyllä, joka tapahtui Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Raakadataa tarkasteltiin Matlab-ohjelmalla. Datan perusteella laskettiin ominaiskuormitukset ja tehtiin virtaamakuvaajat. Kun tulokset olivat selvillä, analysoitiin mittausvirhettä, ja määritettiin tuloksien epävarmuus.

Tuloksista selvisi, että kuormitus peltoalueelta on suurempaa kuin metsäalueelta. Erityisesti tyyppi- ja kiintoainekuormitus on moninkertainen, ja näin ollen maatalous on vesistön kuormittaja. Lisäksi huomattiin, että sateet lisäävät kuormituksen määrää. Työtä tehdessä tuli hyvin esille se, että vaikka kyseessä on automaattinen mittalaiteverkosto, joudutaan silti tekemään datankäsittelyä manuaalisesti ja tuloksissa tulee huomioida mahdollinen virhe. Tulosten tulkinta helpottuu, jos kenttäpäiväkirjaa on pidetty säännöllisesti ja kaikki havainnot on kirjattu selkeästi ylös. Erityisesti jatkuvatoimisen seurannan luotettavuuden arviointi helpottuu, kun havaintoja on kirjattu. Jatkuvatoimisilla mittauksilla saatiin hyvin tietoa keväältä, jolloin virtaama oli selkeästi suurinta. Yksittäisillä mittauksilla ja näytteenotolla ei varmasti saavuteta yhtä luotettavia tai ainakaan yhtä tarkkoja tuloksia, kuin jatkuvatoimisella seurannalla. Mitä useammin pidetään kenttäpäiviä, ja tehdään havaintoja tutkimusalueesta, sitä luotettavampaa tietoa voidaan jatkuvatoimisella seurannalla saada. Mittausvirhe laskettiin laitevalmistajien antaman mittausepävarmuuden ja laboratorioanalyysien epävarmuuden perusteella. Mittausvirhettä tarkasteltaessa huomattiin, että suurimman epävarmuuden tuloksiin aiheuttaa laboratorioanalyysit. Vaikka käytössä on standartoidut määrittymiset, on epävarmuus silti 15–20 % luokkaa. Jatkuvatoimisille mittalaitteille puolestaan on annettu hyvin pieni mittausepävarmuus, mutta kaikkea ei pystytty jatkuvatoimisesti mittaamaan. Virhetarkastelussa tulee kuitenkin huomata, että tarkkaa mittausvirhettä ei pystytty laskemaan, koska esimerkiksi inhimillisen virheen suuruutta ei voida määrittää. Näin ollen todellinen mittausvihe saattaa olla paljon laskettua suurempi. Jatkuvatoimisella virtaaman seurannalla yhdessä vesinäytteenoton kanssa pystytään saamaan tarkempaa tietoa kuormituksesta, kuin yksittäisellä näytteenotolla.

Jälkeenpäin ajateltuna työtä olisi helpottanut käytännön kokemus mittauksista ja kenttätyöstä. Varsinkin työtä aloittaessa kului paljon aikaa tutkimuksen hahmottamiseen, ja mittalaitteisiin tutustumiseen. Kuitenkin kun työ saatiin alkuun, saatiin myös tuloksia aikaiseksi. Työn tarkoituksena oli tuottaa lisätietoa FOKUS II -tutkimushankkeen käyttöön. Tätä opinnäytetyötä tullaan vielä jatkamaan lisätutkimuksilla. Opinnäytetyö jatkuu sillä, että selvitetään, mitä toimenpiteitä tutkimusalueella on tehty, tehdään virtaaman uudelleen arviointi, ja selvitetään, kuinka suuri metsäalueen pistekuormitus on. Tätä kautta saadaan tarkennettua laskettuja ominaiskuormitusarvoja ja pystytään paremmin analysoimaan tuloksia. Vaikka tämän opinnäytetyön aihe oli laaja, ja työn aikana tuli esille useita lisäselvityksiä vaativia asioita, niin kuitenkin kaikki opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin.

LÄHTEET

Endress+hauser. *Technical information, liquiport 2000, automatic sampler for liquid media*. [viitattu 2013-02-04]. Saatavissa:

https://portal.endress.com/wa001/dla/5000457/7974/000/03/ti00084ren_0111.pdf

Euroopan komissio, 2010. *Vesipolitiikan puitteiden direktiivi* [verkkajulkaisu]. [viitattu 2013-01-30]. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/wfd/fi.pdf>

Finer, L., Mattson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Lauren, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiahio, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola, S. & Vuollekoski, M. 2010. *Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta*. Suomen ympäristökeskus.

Huttula, T., Bilaletdin, E., Härmä, P., Kallio, K., Linjama, J., Lehtinen, K., Luotonen, H., Malve, O., Vehviläinen, B. & Villa, L. 2009. *Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen*. [Suomen ympäristökeskuksen raportteja].

Huttunen, I., Huttunen, M., Tattari, S. & Vehviläinen B. 2013. *SYKE-WSFS-VEMLA vesistömallin vedenlaatuosio* [verkkajulkaisu]. Suomen ympäristökeskus [viitattu 2.4.2013]. Saatavissa:

[https://syke.etapahtuma.fi/eTaika_Tiedostot/2/TapahtumanTiedostot/385/Vesist%C3%B6mallij.%20vedenlaatuosio%20\(VEMLA\).pdf](https://syke.etapahtuma.fi/eTaika_Tiedostot/2/TapahtumanTiedostot/385/Vesist%C3%B6mallij.%20vedenlaatuosio%20(VEMLA).pdf)

Ilmatieteenlaitos. Ilmastokeskus. Sääaineistot [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja MTT Maaninka. Lähetetty 2013 [viitattu 5.4.2013].

Kukkonen, M. 2012. *Opas metsätalouden vesistökuormituksen seurantaan* [verkkajulkaisu]. Metlan työraportteja 245 [viitattu 2013-02-27]. Saatavissa:

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp245.pdf>

Kupiainen, V. 2010. *Pohjaveden purkautuminen metsäojiiin Rokuan harjualueella ja ojan kunnostus padottamalla*. Oulun yliopisto, prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö.

Kauppinen, E. 2006. *Kirmanjärven fosforitaseet ja kunnostuksen pääpiirteet vuodelle 2006*. Vesi-Eko Oy Water-Eko Ltd.

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus 2012. *Valuma-alueen jatkuva toiminta näytteenotto ja virtaamamittaus Kirmanjärvellä*. Powerpoint.

Maanmittauslaitos. Aineistot ja palvelut. Latauspalvelut. Avoimien aineistojen tiedostopalvelu [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Hanna Kröger. Lähetetty 9.4.2013.

MTT. *Sisävesien ravinnekuormitus*. [viitattu: 2013-02-11]. Saatavissa:

<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/Sisavesien-ravinnekuormitus>

Operating manual STS 2013. *Datalogger, Program and Accessories*.

Pehkonen, R. 2013. *Kumotut SFS-standardit. Veden laatu. Kemialliset menetelmät* [Taulukko kumotuista standardeista]. [viitattu 14.3.2013]. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=82089>

Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010. *Pohjois-Savon vesienhoidon toimenpideohjelma vuosille 2010- 2015*.

Räty, M. MTT. Tietoja [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Hanna Kröger. Lähetetty 19.2.2013 [viitattu 20.2.2013].

Räty, M., Virkajärvi, P., Saarijärvi, K., Saarijärvi, E. & Hartikainen, H. 2012. *Sisävesien fosforikuormitus Kirmanjärven valuma-alueella Pohjois-Savossa*. Maataloustieteen päivät 2012.

Saarelainen, J., & Leino, J. 2002. *Peltosalmen kartta-alueen maaperä*. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.

SFS-EN 872 1996. *Veden laatu. Kiintoaineen määrittäminen*. Suodatus lasikuitusuodattimella. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 1189 1996. *Veden laatu. Fosforin määrittäminen spektrometrillä ammoniummolybdaattimenetelmällä*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 11905-1 1998. *Veden laatu. Typen määrittäminen*. Osa 1: Peroksidisulfaattihapetus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Sontek. *Flow tracker handheld ADV*. [viitattu 2013-02-04]. Saatavissa:
http://www.sontek.com/pdf/brochures/flowtracker_S01-05-0411.pdf

SYKE-WSFS-VEMALA. Vesistömallin vedenlaatuosio. Simuloituaineisto poimittu 6.8.2012.

Unidata. Unidata manual. *Starflow ultrasonic doppler instrument with micrologger model 6526*.

Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. Lounais-Suomi. Ympäristönsuojelu. Maatalouden ympäristönsuojelu. *Maatalouden monivaikuttiset kosteikot 2010*. [viitattu 2013-02-05]. Saatavissa:
www.ymparisto.fi

Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. Ympäritön tila. Pintavedet. Vesistöjen kuormitus. *Maatalouden vesistökuormitus 2011*. [viitattu 2013-03-11]. Saatavissa: www.ymparisto.fi

Ympäristöministeriön verkkopalvelu. Ajankohtaista. Tiedotteet. Tiedotteet 2011. *Uusi vesilaki voimaan vuoden 2012 alussa*. [viitattu 2013-03-12]. Saatavissa: www.ym.fi

WWF. *Kosteikon perustaminen*. [viitattu 2013-02-05]. Saatavissa: <http://wwf.fi/maapallomme/itameri/kosteikot/kosteikon-perustaminen/>

WWF. *Kosteikot*. [viitattu 2013-02-05]. Saatavissa: <http://wwf.fi/maapallomme/itameri/kosteikot/>

ESIMERKKEJÄ TOIMENPITEISTÄ JA HAVAINNOISTA MITTAUSPISTEISSÄ

Mittauspiste	Päivämäärä	Toimenpide/havainto
3	27.5.11	Poistettu kasaantunut kasviaines V-aukosta.
3	6.6.11	Poistettu kasaantunut kasviaines V-aukosta.
3	25.4.12	Vesi tulvi mittapadon yli.
3	27.4.12	Vesi tulvi mittapadon yli.
3	17.7.12	Poistettu kasaantunut kasviaines V-aukosta.
4	11.4.11	Paineanturin putsaus.
4	14.6.11	Vesi ei virrannut V-aukosta.
4	15.11.11	Kaivinkoneella poistettu maa-ainesta mittauspisteen ympäriltä.
4	23.4.12	Vesi tulvi padon toiselta laidalta yli.
4	25.4.12	Vesi tulvi mittapadon yli.
4	27.4.12	Vesi tulvi mittapadon yli.
4	9.7.12	Vesi tulvi mittapadon yli.
5	6.6.11	Poistettu kasaantunut kasviaines V-aukosta.
5	5.4.12	V-aukko jäässä, mutta sen alta virtasi vesi.
1 (2)	1.10- 4.10.12	Kosteikkoa ja siitä lähtevää uoma avattiin kaivinkoneella.

RANKKASATEIDEN PÄIVÄMÄÄRÄT

Rankkasateen päivämäärä	Sademäärä (mm)
12.7.2011	30,4
19.7.2011	39,35
21.7.2011	30,8
24.7.2011	22,15
18.8.2011	32,35
17.6.2012	28,9
8.7.2012	29,55
9.7.2012	23,2
13.7.2012	25,15
7.8.2012	29,9

